

DISERTASI - RC 14 3505

**DAMPAK BEBAN BERLEBIH (*OVERLOADED*)  
PADA KENDARAAN BERAT TERHADAP  
PERSAMAAN *EQUIVALENT AXLE LOAD* (EAL)  
PADA PERENCANAAN PERKERASAN JALAN  
BERDASARKAN TEORI DEFORMASI PERMANEN  
(*PERMANENT DEFORMATION*)**

CATUR ARIF PRASTYANTO  
NRP : 3112301005

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MS.c., Ph.D.

PROGRAM DOKTOR  
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA TRANSPORTASI  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

# LEMBAR PENGESAHAN

Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Doktor (Dr.)**

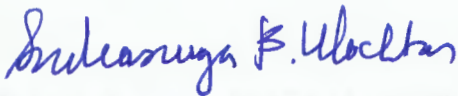
Di  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**Catur Arif Prastyanto**  
**NRP. 03112301005**

**Tanggal Ujian : 03 Januari 2018**  
**Periode Wisuda : Maret 2018**

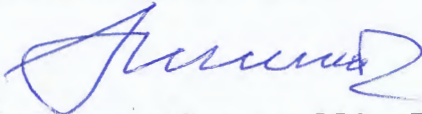
**Disetujui oleh:**



1. **Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.** (Pembimbing)  
**NIP : 19530408 197603 1 002**



2. **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.** (Penguji)  
**NIP : 19500403 197603 1 003**



3. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.** (Penguji)  
**NIP : 19510605 197803 1 002**

4. **Ir. Achmad Wicaksono, M.Eng., Ph.D.** (Penguji)  
**NIP : 19680210 199203 1 001**



**Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan  
Kebumihan (FTSLK)**

**Dekan,**

**I.D.A.A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP : 19750212 199903 2 001**

# **DAMPAK BEBAN BERLEBIH (*OVERLOADED*) PADA KENDARAAN BERAT TERHADAP PERSAMAAN *EQUIVALENT AXLE LOAD* (EAL) PADA PERENCANAAN PERKERASAN JALAN BERDASARKAN TEORI DEFORMASI PERMANEN (*PERMANENT DEFORMATION*)**

Nama mahasiswa : Catur Arif Prastyanto  
NRP : 3112301005  
Promotor : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Pada perancangan perkerasan jalan raya, nilai *Equivalent Axle Load* (EAL) adalah salah satu faktor penting untuk menghitung tebal struktur perkerasan jalan. Persamaan EAL yang selama ini digunakan didasarkan pada teori *fatigue cracking*. Tipikal kerusakan pada teori tersebut pada umumnya terjadinya retak-retak pada lapisan permukaan aspal (surface). Di Indonesia, pada jalan-jalan yang dilalui kendaraan berat banyak dijumpai adanya kerusakan yang cukup parah, yaitu terjadi penurunan (deformasi) secara permanen. Kondisi seperti ini tentu sangat berbeda dengan tipikal kerusakan perkerasan yang didasarkan pada pendekatan teori *fatigue cracking*. Kondisi tersebut membuktikan bahwa penggunaan persamaan EAL yang didasarkan pada pendekatan teori *fatigue cracking* kurang sesuai untuk kondisi di Indonesia. Dengan demikian, dibutuhkan suatu persamaan EAL baru yang didasarkan pada pendekatan teori deformasi permanen (*permanent deformation*).

Terdapat tiga ruas jalan yang akan dikaji yaitu ruas jalan Khusus, Arteri dan Kolektor. Ketiga ruas jalan tersebut sering dilalui oleh kendaraan (truk) berat. Pengujian lendutan perkerasan jalan dilakukan pada ketiga ruas jalan tersebut dengan berbagai variasi pembebanan, yaitu beban dibawah standar, beban standar, beban overloaded dan beban diatas overloaded. Pelaksanaan pengujian dilakukan pada saat musim penghujan dengan alat FWD, BB dan LVDT. Data-data tersebut selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL yang didasarkan pada pendekatan teori deformasi permanen. Metode analisis yang digunakan adalah analisis regresi linier dan non-linier. Beberapa skenario juga diterapkan dalam proses analisis untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL baru.

Berdasarkan hasil analisis, terdapat dua bentuk persamaan EAL yaitu  $EAL = \left( \frac{P}{P_{std. \text{ axle load}}} \right)^{4.40}$  dimana penerapan aturan batas muatan kendaraan dapat dilaksanakan secara maksimal dan  $EAL = \left( \frac{P}{P_{std. \text{ axle load}}} \right)^{6.00}$  dimana penerapan aturan batas muatan kendaraan tidak dapat dilaksanakan secara maksimal.

**Kata kunci:** *Equivalent Axle Load* (EAL), beban berlebih (*overloaded*), deformasi permanen (*permanent deformation*).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **THE IMPACT OF OVERLOADED ON HEAVY VEHICLES TOWARD EQUIVALENT AXLE LOAD (EAL) EQUATION FOR HIGHWAY PAVEMENT DESIGN BASED ON PERMANENT DEFORMATION THEORY**

Name of Student : Catur Arif Prastyanto  
NRP : 3112301005  
Promotor : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRACT**

In highway pavement design, Equivalent Axle Load (EAL) value is one of the important factors to calculate the thickness of pavement structure. The EAL equation that has been used is based on the theory of fatigue cracking. Typical road pavement deterioration to the theory is generally the presence of cracks that occur on the surface layer of asphalt (surface). In Indonesia, most of the roads through heavy vehicles are found to be quite severe pavement damage, such as the permanent deformation of pavement structures. The condition is certainly very different from the typical pavement damage based on the theory of fatigue cracking. This condition proves that the use of EAL equation based on fatigue cracking theory is not suitable for the condition in Indonesia. Thus, a new EAL equation based on the theory of permanent deformation is required.

There are three roads to be studied namely access road, arterial road and collector road. The three roads are often traversed by heavy (truck) vehicles. Road pavement deflection testing was carried out on the three sections of the road with various loading variations: under standard load, standard load, over standard load and super-over standard load. Implementation of the test conducted during the rainy season by using FWD, BB and LVDT test equipment. The data of the test results are further analyzed to obtain the EAL equation form based on the theory of permanent deformation. The analysis method used is linear and non-linear regression analysis. Several scenarios are also applied in the analysis process to obtain new EAL equations.

Based on the results of the analysis, there are two forms of EAL equations obtained that is  $EAL = \left( \frac{P}{P_{std. \text{ axle load}}} \right)^{4.40}$  where the application of vehicle load limit regulation on the road can be carried out maximally, and  $EAL = \left( \frac{P}{P_{std. \text{ axle load}}} \right)^{6.00}$  where the application of vehicle load limit regulation on the road can not be implemented maximally.

**Key words :** Equivalent Axle Load (EAL), overloaded, permanent deformation.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji dan rasa syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT disertasi ini dapat diselesaikan sesuai dengan harapan penulis. Dalam penyelesaian disertasi ini tentunya banyak pihak yang turut serta dan membantu mulai dari awal penelitian sampai dengan disertasi ini selesai. Untuk itu, dengan penuh rasa hormat penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan dan kerjasamanya yang telah diberikan baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan disertasi ini hingga selesai. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada yang terhormat :

1. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D., selaku Promotor Utama yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan, serta penyemangat hingga tersusunnya disertasi ini sampai dengan selesai.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA., selaku penguji disertasi ini yang telah memberikan masukan dan koreksi demi kesempurnaan disertasi ini.
3. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D., selaku penguji disertasi ini yang telah memberikan masukan dan koreksi demi kesempurnaan disertasi ini.
4. Bapak Ir. Achmad Wicaksono, M.Eng., Ph.D., selaku penguji disertasi ini yang telah memberikan masukan dan koreksi demi kesempurnaan disertasi ini.
5. Ibu Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D., dan Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D., selaku tim Komisi Kelayakan Disertasi yang telah memberikan masukan dan koreksi demi kesempurnaan disertasi ini.
6. Ibu Ir. Endah Wahyuni, M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Pasca Sarjana, Departemen Teknik Sipil ITS yang telah banyak membantu selama menjalani pendidikan jenjang S3 dan dalam proses penyelesaian disertasi ini.
7. Bapak Robin dan seluruh staf administrasi Program Studi Pasca Sarjana, Departemen Teknik Sipil ITS yang telah banyak membantu demi kelancaran penyelesaian disertasi ini.
8. Ibu Ir. Hera Widyastuti, MT., Ph.D, selaku ketua Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan, Departemen Teknik Sipil ITS yang telah memberi dukungan dan penyemangat selama menjalani pendidikan jenjang S3 dan dalam proses penyelesaian disertasi ini.
9. Bapak Ir. Wahyu Herijanto, MS., Bapak Anak Agung Gde Kartika, ST., M.Sc., Bapak Cahya Buana, ST., MT., Bapak Ir. Budi Rahardjo, MT., dan Bapak Istiar, ST., MT., selaku The Dream Team yang telah memberi dukungan dan penyemangat selama menjalani pendidikan jenjang S3 dan dalam proses penyelesaian disertasi ini.
10. Pak Ubaidilah, Pak Ngadi dan Pak Sugianto yang selalu menemani dalam pengambilan data-data penelitian di lapangan.
11. Bapak-bapak dan Tim Laboratorium Jalan di Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJN) VIII yang telah banyak membantu dalam penyelesaian disertasi ini.
12. Bapak Subhan, Bapak Arif beserta tim infrastruktur PT. Semen Indonesia Tbk. di Tuban Jawa Timur yang telah banyak membantu dalam penyelesaian disertasi ini.

13. Rekan-rekan mahasiswa S3 Angkatan 2012 yang telah bersama-sama mengikuti program pendidikan dan juga saling memberi dukungan dan semangat dalam proses penyelesaian disertasi ini.
14. Yang sangat saya cintai kedua orang tua kami, istri saya Hemy Listiana, anak-anak saya Ryan dan Selda beserta seluruh keluarga besar saya dan istri yang telah memberi dukungan, semangat dan doa yang tinggi dalam proses penyelesaian disertasi ini.
15. Semua pihak, yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu-persatu, yang telah membantu, memberi dukungan dan semangat dalam proses penyelesaian disertasi ini.

Semoga Allah SWT membalas semua atas kebaikan, dukungan, kesabaran dan doa yang telah Bapak/Ibu/Saudara/i berikan kepada penulis. Harapan penulis semoga disertasi ini bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil khususnya masalah Rekayasa Perkerasan Jalan. Penulis menyadari dalam penyusunan disertasi ini tentunya terdapat kekurangan dan keterbatasan. Atas hal tersebut, penulis berharap masih ada saran dan masukan lebih lanjut dari pembaca untuk kesempurnaan penelitian ini, dan perlu penulis sampaikan permohonan maaf atas kurang-sempurnaan dalam penyusunan disertasi ini.

Surabaya, Januari 2018  
Penulis,

Catur Arif Prastyanto



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Permasalahan .....	11
1.3. Tujuan Penelitian .....	12
1.4. Batasan Penelitian .....	13
1.5. Manfaat Penelitian .....	13
1.6. Originalitas Penelitian ( <i>State of The Art</i> ) .....	13
BAB 2 DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA .....	23
2.1. Kerusakan Jalan .....	23
2.2. Karakteristik Perkerasan Lentur ( <i>Flexible Pavement</i> ) .....	28
2.3. Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan .....	31
2.3.1. Pengujian Lendutan Dengan Alat Falling Weight Deflectometer (FWD) .....	31
2.3.2. Pengujian Lendutan Dengan Alat Benkleman Beam (BB)...	34
2.3.3. Pengujian Lendutan Dengan Alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT) .....	35
2.4. Bidang Kontak Ban Pada Perkerasan Jalan .....	37
2.5. Regangan dan Lendutan Pada Perkerasan Lentur .....	39
2.6. Deformasi Permanen Pada Perkerasan Jalan Lentur.....	40
2.7. <i>Equivalent Axle Load</i> (EAL) .....	42
2.8. Analisa Regresi .....	46
2.9. Kerangka Kerja Konseptual ( <i>Conceptual Frame Work</i> ) .....	49

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN .....	53
3.1.	Rancangan Penelitian .....	53
3.2.	Survey Lokasi Penelitian .....	55
3.2.1.	Survey Ruas dan Struktur Perkerasan Jalan .....	55
3.2.2.	Survey Karakteristik Kendaraan Truk Berat .....	56
3.3.	Seting Alat Penguji Lendutan Perkerasan Jalan .....	61
3.3.1.	Alat Falling Weight Deflectometer (FWD) .....	61
3.3.2.	Alat Bengkleman Beam (BB) .....	62
3.3.3.	Alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT) .....	63
3.4.	Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan di Lapangan .....	66
3.4.1.	Alat Falling Weight Deflectometer (FWD) .....	66
3.4.2.	Alat Bengkleman Beam (BB) .....	67
3.4.3.	Alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT) .....	68
3.5.	Analisa Data .....	71
3.5.1.	Analisis Hasil Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan .....	71
3.5.2.	Analisis Penentuan Bentuk Persamaan Equivalent Axle Load (EAL) .....	73
BAB 4	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	79
4.1.	Analisis Hasil Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan .....	79
4.1.1.	Nilai lendutan perkerasan jalan dengan alat <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD) .....	79
4.1.2.	Nilai lendutan perkerasan jalan dengan alat Benkelman Beam (BB) .....	86
4.1.3.	Nilai lendutan perkerasan jalan dengan alat <i>Linier Variable Displacement Transducer</i> (LVDT) .....	94
4.2.	Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas (E) dan Regangan Vertikal ( $\epsilon_z$ ) Struktur Perkerasan Jalan .....	104
4.2.1.	Nilai Tekanan Ban (q) Sesuai Dengan Kondisi di Lapangan (Tekanan Ban Aktual) .....	104
4.2.2.	Nilai Tekanan Ban (q) Disesuaikan Dengan Beban As Kendaraan (Penyesuaian Tekanan Ban) .....	107

4.3. Perhitungan Nilai Equivalent Axle Load (EAL) .....	113
4.3.1. Perhitungan Nilai EAL Berdasarkan Tekanan Ban (q) Aktual .....	113
4.3.2. Perhitungan Nilai EAL Berdasarkan Penyesuaian Tekanan Ban (q) Terhadap Beban as Kendaraan .....	118
4.3.3. Perhitungan Nilai EAL Berdasarkan Nilai E Konstan .....	125
4.4. Analisis Bentuk Persamaan Equivalent Axle Load (EAL) .....	131
4.4.1. Bentuk Persamaan EAL Untuk As SADW .....	132
4.4.2. Bentuk Persamaan EAL Untuk As TADW .....	135
4.4.3. Dampak Peningkatan Beban As Kendaraan Terhadap Nilai Lendutan Perkerasan Jalan dan Nilai Pangkat (b) Pada Persamaan EAL .....	137
4.5. Penentuan Bentuk Persamaan Equivalent Axle Load (EAL) ..	150
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	153
5.1. Kesimpulan.....	153
5.2. Saran .....	154
DAFTAR PUSTAKA .....	157

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Perbandingan Harga Total EAL antara Perhitungan Berdasarkan Hasil Survery WIM ( <i>Weight in Motion</i> ) dan Hasil Perkiraan Menurut Cara Bina Marga (1987) untuk Beberapa Ruas Jalan di Jawa Timur, untuk Umur Rencana 20 Tahun .....	4
Tabel 1.2.	Beberapa hasil penelitian tentang Equivalent Axle Load (EAL)	20
Tabel 2.1.	Komposisi Beban Gandar Kendaraan Niaga pada Jalan Tol Porong-Waru, Jawa Timur .....	25
Tabel 2.2.	Approximately the value of Pmax and k for FWD only .....	33
Tabel 2.3.	Perkiraan jarak antar geophone yang disarankan .....	34
Tabel 2.4.	Kriteria regangan vertikal pada permukaan sub-grade dari beberapa referensi .....	41
Tabel 3.1.	Distribusi berat beban dan as kendaraan untuk jenis T 1.2 (SADW) .....	58
Tabel 3.2.	Distribusi berat beban dan as kendaraan untuk jenis T 1.22 (TADW) .....	58
Tabel 3.3.	Distribusi berat beban dan as kendaraan untuk jenis T 1.2 – 222 dan T 1.22 – 222 (TrADW) .....	59
Tabel 3.4.	Variasi beban as kendaraan untuk uji lendutan perkerasan jalan .....	59
Tabel 3.5.	Hasil pengukuran tekanan ban untuk jenis as SADW (T 1.2) ...	60
Tabel 3.6.	Hasil pengukuran tekanan ban untuk jenis as TADW (T 1.22) ..	61
Tabel 3.7.	Hasil pengukuran tekanan ban untuk jenis as TrADW (T 1.2 – 222 dan T 1.22-222) .....	61
Tabel 4.1.	Nilai lendutan-balik perkerasan jalan menggunakan alat FWD pada ruas jalan Akses 1 .....	81
Tabel 4.2.	Nilai lendutan-balik perkerasan jalan menggunakan alat FWD pada ruas jalan Akses 1 terkoreksi terhadap suhu dan musim ...	82
Tabel 4.3.	Nilai lendutan terkoreksi perkerasan jalan dengan menggunakan alat FWD .....	83

Tabel 4.4.	Konversi beban as TADW menjadi SADW .....	85
Tabel 4.5.	Nilai lendutan berdasarkan hasil regresi linier dengan alat FWD untuk jenis as SADW dan TADW .....	85
Tabel 4.6.	Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Akses 1 .....	87
Tabel 4.7.	Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Arteri 2 .....	88
Tabel 4.8.	Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Kolektor 1 .....	88
Tabel 4.9.	Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Kolektor 2 .....	88
Tabel 4.10.	Nilai lendutan-balik <i>terkoreksi</i> dengan alat BB untuk TADW jalan Akses 1 .....	89
Tabel 4.11.	Nilai lendutan-balik <i>terkoreksi</i> dengan alat BB untuk TADW jalan Arteri 2 .....	89
Tabel 4.12.	Nilai lendutan-balik <i>terkoreksi</i> dengan alat BB untuk TADW jl. Kolektor 1 .....	90
Tabel 4.13.	Nilai lendutan-balik <i>terkoreksi</i> dengan alat BB untuk TADW jl. Kolektor 2 .....	90
Tabel 4.14.	Nilai lendutan-balik <i>terkoreksi</i> dengan alat BB untuk TADW dengan variasi beban as kedaraan .....	91
Tabel 4.15.	Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat BB untuk jenis as TADW .....	93
Tabel 4.16.	Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat BB untuk jenis as TADW dan SADW .....	94
Tabel 4.17.	Nilai lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW .....	95
Tabel 4.18.	Nilai lendutan-balik hasil penyeragaman titik acuan terhadap LVDT nomor 4 dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW .....	98

Tabel 4.19. Nilai lendutan-balik hasil analisa regresi non-linier tepat di tengah roda ganda dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW .....	99
Tabel 4.20. Faktor koreksi suhu permukaan perkerasan jalan dan musim ...	100
Tabel 4.21. Nilai lendutan-balik hasil analisa regresi non-linier tepat di tengah roda ganda <i>terkoreksi</i> dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW .....	101
Tabel 4.22. Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat LVDT untuk as SADW .....	102
Tabel 4.23. Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat LVDT untuk as SADW dan TADW .....	103
Tabel 4.24. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan tekanan ban (q) aktual dengan alat BB jenis as TADW .....	106
Tabel 4.25. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan tekanan ban (q) aktual dengan alat LVDT jenis as SADW .....	106
Tabel 4.26. Nilai tekanan ban yang telah disesuaikan dengan variasi pembebanan pada pengujian lendutan-balik perkerasan jalan ...	108
Tabel 4.27. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan nilai penyesuaian tekanan ban (q) dengan alat FWD untuk jenis as SADW dan TADW .....	109
Tabel 4.28. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan nilai penyesuaian tekanan ban (q) dengan alat BB untuk jenis as SADW dan TADW .....	110
Tabel 4.29. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan tekanan ban (q) standar dengan alat LVDT untuk jenis as SADW dan TADW .....	110
Tabel 4.30. Nilai EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual .....	116

Tabel 4.31. Nilai EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual .....	118
Tabel 4.32. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	119
Tabel 4.33. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	121
Tabel 4.34. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	123
Tabel 4.35. Rangkuman nilai E konstan berdasarkan alat LVDT, FWD dan BB, dan tekanan ban standar untuk jenis as SADW dan TADW .....	126
Tabel 4.36. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	126
Tabel 4.37. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	128
Tabel 4.38. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	129
Tabel 4.39. Rangkuman nilai EAL untuk as SADW dan TADW dengan alat BB dan LVDT berdasarkan tekanan ban aktual .....	131
Tabel 4.40. Rangkuman nilai EAL untuk as SADW dan TADW dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban ....	132
Tabel 4.41. Rangkuman nilai EAL beban as standar TADW 8.16 ton dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual .....	133
Tabel 4.42. Rangkuman nilai EAL beban as standar TADW 8.16 ton ( $\approx 15.07$ ton) dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	133
Tabel 4.43. Bentuk persamaan EAL untuk as SADW dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual .....	135
Tabel 4.44. Bentuk persamaan EAL untuk as SADW dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	135
Tabel 4.45. Bentuk persamaan EAL untuk as TADW dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual .....	138



Tabel 4.46. Bentuk persamaan EAL untuk as TADW dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	139
Tabel 4.47. Nilai peningkatan beban dan lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD untuk as SADW dan TADW .....	139

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Contoh perkerasan jalan yang tidak mampu menerima beban <i>overloaded</i> .....	5
Gambar 1.2.	Contoh kerusakan alur dan deformasi permanen pada perkerasan jalan lentur.....	6
Gambar 1.3.	Permanent deformation dengan berbagai beban as kendaraan.	7
Gambar 1.4.	Ilustrasi perkiraan pengaruh beban as kendaraan terhadap nilai EAL .....	18
Gambar 2.1.	Tipikal kerusakan alur ( <i>rutting</i> ) pada perkerasan jalan lentur..	25
Gambar 2.2.	Contoh kerusakan perkerasan jalan akibat genangan air .....	27
Gambar 2.3.	Proses kerusakan perkerasan jalan akibat genangan air .....	27
Gambar 2.4.	Susunan konstruksi perkerasan lentur .....	28
Gambar 2.5.	Distribusi penyebaran beban roda pada perkerasan jalan .....	29
Gambar 2.6.	Gaya-gaya yang bekerja pada perkerasan ketika menerima beban roda .....	29
Gambar 2.7.	Pengaruh tebal perkerasan terhadap pendistribusian beban roda ke tanah dasar .....	30
Gambar 2.8.	Tegangan-regangan pada perkerasan saat menerima beban lalu lintas berulang .....	31
Gambar 2.9.	Alat <i>Dynatest Falling Weight Deflectometer</i> (FWD) .....	32
Gambar 2.10.	Tipikal bentuk cekung lendutan ( <i>deflection bowl</i> ) hasil pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD .....	32
Gambar 2.11.	Peralatan BB yang digunakan untuk mendapatkan data lendutan .....	34
Gambar 2.12.	Faktor koreksi lendutan terhadap temperatur standar .....	35
Gambar 2.13.	Gambaran alat LVDT dan data logger yang digunakan untuk pengujian lendutan perkerasan jalan .....	36
Gambar 2.14.	Konstruksi pemegang alat LVDT .....	36
Gambar 2.15.	Hubungan antara contact pressure dan tire pressure .....	37
Gambar 2.16.	Ukuran bidang kontak ban .....	38

Gambar 2.17. Konfigurasi beban standar berdasarkan AASHTO .....	42
Gambar 2.18. Contoh bentuk hasil analisa regresi .....	47
Gambar 2.19. <i>Conceptual Frame Work</i> dalam proses analisis .....	51
Gambar 3.1. Bagan alir rancangan penelitian .....	53
Gambar 3.2. Lokasi penelitian .....	55
Gambar 3.3. Tebal lapisan perkerasan jalan pada lokasi jalan yang diteliti .	56
Gambar 3.4. Tata cara penimbangan beban kendaraan total dan beban as kendaraan .....	57
Gambar 3.5. Kegiatan pengamatan tekanan ban di lapangan .....	60
Gambar 3.6. Kegiatan uji coba terhadap seting alat FWD untuk mendapatkan variasi beban yang diinginkan .....	62
Gambar 3.7. Pemeriksaan kelaikkan alat BB di Laboratorium .....	63
Gambar 3.8. Desain konstruksi pemegang alat LVDT .....	64
Gambar 3.9. Uji coba alat LVDT untuk pengujian lendutan perkerasan jalan .....	65
Gambar 3.10. Kegiatan pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD .....	67
Gambar 3.11. Skema penempatan alat BB untuk uji lendutan-balik pada perkerasan jalan lentur dengan as TADW .....	69
Gambar 3.12. Pelaksanaan uji lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat BB .....	69
Gambar 3.13. Skema pengujian lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat LVDT untuk kendaraan dengan as SADW .....	70
Gambar 3.14. Pengujian lendutan-balik dengan alat LVDT .....	70
Gambar 3.15. Diagram alir analisis data lendutan hasil pengujian di lapangan .....	72
Gambar 3.16. Diagram alir analisis penentuan bentuk persamaan EAL berdasarkan tekanan ban aktual dan penyesuaian tekanan ban terhadap beban as kendaraan .....	76
Gambar 3.17. Diagram alir analisis penentuan bentuk persamaan EAL berdasarkan nilai E konstan .....	77

Gambar 4.1.	Kegiatan pengujian lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat FWD .....	80
Gambar 4.2.	Nilai lendutan hasil analisis regresi untuk as SADW jl. Akses 1 dengan alat FWD .....	83
Gambar 4.3.	Pelaksanaan uji lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat BB .....	87
Gambar 4.4.	Nilai lendutan-balik hasil analisis regresi untuk as TADW jl. Akses 1 dengan alat BB .....	92
Gambar 4.5.	Pengujian lendutan-balik dengan alat LVDT .....	95
Gambar 4.6.	Ilustrasi lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW .....	96
Gambar 4.7.	Ilustrasi nilai lendutan-balik hasil penyeragaman titik acuan terhadap LVDT nomor 4 dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW .....	98
Gambar 4.8.	Ilustrasi bacaan lendutan-balik dengan LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW .....	99
Gambar 4.9.	Nilai lendutan-balik hasil analisis regresi untuk as SADW jl. Akses 1 dengan alat LVDT .....	101
Gambar 4.10.	Grafik hubungan antara beban as versus tekanan ban .....	108
Gambar 4.11.	Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual ....	117
Gambar 4.12.	Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual .....	118
Gambar 4.13.	Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	120
Gambar 4.14.	Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	120

Gambar 4.15. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	122
Gambar 4.16. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	122
Gambar 4.17. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	124
Gambar 4.18. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban .....	124
Gambar 4.19. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	127
Gambar 4.20. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	127
Gambar 4.21. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	128
Gambar 4.22. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	129
Gambar 4.23. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	130
Gambar 4.24. Bentuk hubungan antara $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$ versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan .....	130
Gambar 4.25. Ilustrasi hubungan antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat FWD untuk as SADW .....	140

Gambar 4.26. Ilustrasi bungan antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat FWD untuk as TADW .....	141
Gambar 4.27. Ilustrasi bungan antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat BB untuk as SADW .....	142
Gambar 4.28. Ilustrasi bungan antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat BB untuk as TADW .....	143
Gambar 4.29. Ilustrasi bungan antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat LVDT untuk as SADW .....	144
Gambar 4.30. Ilustrasi bungan antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat LVDT untuk as TADW .....	145
Gambar 4.31. Grafik hubungan antara kemiringan nilai lendutan (a) dengan nilai pangkat (b) untuk as SADW .....	146
Gambar 4.32. Grafik hubungan antara kemiringan nilai lendutan (a) dengan nilai pangkat (b) untuk as TADW .....	147
Gambar 4.33. Grafik hubungan antara kemiringan nilai lendutan (a) dengan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL .....	148
Gambar 4.34. Perbedaan persamaan EAL antara hasil penelitian dengan Bina Marga (1989, 2005, 2013) dengan nilai pangkat (b) = 4.40 ....	152
Gambar 4.35. Perbedaan persamaan EAL antara hasil penelitian dengan Bina Marga (1989, 2005, 2013) dengan nilai pangkat (b) = 6.00 ....	152

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pada perencanaan perkerasan jalan, nilai *Equivalent Axle Load* (EAL) adalah salah satu faktor dominan dalam menentukan tebal lapisan struktur perkerasan jalan. Besarnya nilai EAL sangat dipengaruhi oleh berat total kendaraan, beban as, dan konfigurasi as kendaraan. *American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO (1972)* telah menetapkan beban as standar sebesar 18000 lbs atau 8,16 ton untuk sumbu tunggal roda ganda (*single axle dual wheel, SADW*). Nilai EAL dapat diartikan sebagai perbandingan jumlah lintasan antara suatu beban as kendaraan P (ton) dibandingkan dengan jumlah lintasan beban as standar 8.16 ton yang menghasilkan tingkat kerusakan yang sama pada perkerasan jalan. Nilai EAL tersebut oleh Bina Marga (1979) disederhanakan sebagai perbandingan antara beban as aktual dan beban standar (8,16 ton) pangkat 4. Sedangkan nilai EAL untuk sumbu ganda roda ganda (*tandem axle dual wheel, TADW*), adalah nilai EAL beban standar dikalikan faktor koreksi konfigurasi as kendaraan sebesar 0,086.

Di Indonesia, Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga telah menerbitkan tata cara Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B) yang didalamnya terdapat tata cara menghitung nilai EAL. Acuan tersebut mengacu pada Austroads Pavement Design (1992). Seperti pada AASHTO (1972), nilai EAL adalah perbandingan antara beban as aktual dan beban as standar dipangkatkan 4. Nilai beban as standar untuk *single axle single wheel* (SASW) adalah 5,40 ton, *single axle dual wheel* (SADW) adalah 8,16 ton, *tandem axle dual wheel* (TADW) adalah 13,76 ton dan *triple axle dual wheel* (TrADW) adalah 18,45 ton.

Pendekatan teori yang digunakan, baik AASHTO (1972) dan Bina Marga (2005), untuk mendapat formula EAL adalah didasarkan pada teori retak lelah (*fatigue cracking*) yang terjadi pada lapisan permukaan aspal (*surface*). Di negara maju, penggunaan persamaan EAL yang didasarkan pada *fatigue cracking* hampir

tidak dijumpai adanya masalah yang berarti tentang kerusakan perkerasan jalan. Hal tersebut dikarenakan hampir semua kendaraan berat yang digunakan tidak mengangkut muatan yang *overloaded* dan konstruksi perkerasan cukup tebal. Kondisi tersebut sangat berbeda jika dibandingkan dengan Indonesia, dimana sebagian besar kendaraan berat truk mengangkut beban yang *overloaded* (Sutikno dan Mochtar, 1991; Prastyanto, 2012).

Retak lelah (*fatigue cracking*) adalah suatu kerusakan retak yang terjadi pada perkerasan jalan setelah dilewati oleh beban kendaraan berkali-kali pada perkerasan jalan sampai menimbulkan retak. Retak tersebut disebabkan adanya regangan tarik horisontal yang terjadi pada bagian bawah lapisan konstruksi perkerasan aspal akibat adanya beban kendaraan pada permukaan jalan (Huang, 2004). Retak akan terjadi jika komulatif repetisi beban menyebabkan terjadinya regangan tarik melebihi batas maksimum regangan tarik yang diijinkan.

Kerusakan jalan raya di Indonesia akhir-akhir ini menjadi topik pembicaraan yang ramai di media masa. Para pengguna jalan selalu mengeluhkan jalan selalu cepat rusak, meskipun Bina Marga selaku instansi yang bertanggung jawab terhadap kinerja jalan selalu memperbaikinya. Namun tidak lama lagi jalan tersebut selalu mengalami rusak dan rusak lagi. Kondisi tersebut terjadi terus berulang dari tahun ke tahun hingga saat ini.

Mochtar (1991, 1999a, 1999b, 2001, dan 2005) telah membahas secara detil tentang mengapa jalan di Indonesia selalu terjadi kerusakan sebelum umur rencana jalan tercapai. Kerusakan tersebut sering disebut dengan kerusakan dini. Mochtar berpendapat bahwa beban berlebih memiliki andil yang besar sebagai penyebab terjadinya kerusakan dini. Pada negara yang sedang berkembang seperti di Afrika Selatan disebutkan bahwa kendaraan berat yang melebihi beban standar mempunyai andil yang cukup besar terhadap masalah kerusakan dini pada perkerasan jalan yaitu sebesar 60% (South Africa Department of Transport, 1997). Cui dkk (2008) dan Dardak (2009) juga menyebutkan bahwa penyebab utama terjadinya kerusakan dini pada perkerasan jalan raya adalah kendaraan dengan beban berlebih.

Pada penelitian di beberapa ruas jalan di Jawa Timur, Sutikno dan Mochtar (1991) menyebutkan bahwa kendaraan angkutan barang atau niaga sebagian besar

mengangkut barang melebihi beban as kendaraan yang telah ditetapkan. Hasil yang didapat 48,98% as tunggal melebihi 10,5 ton dan sebesar 34,70% as tunggal memiliki beban rata-rata sebesar 16,5 ton. Balai Pelayanan Dinas Lalu Lintas Angkutan Jalan Provinsi Jawa Timur (BP LLAJ, 2008) menyebutkan bahwa hasil pengamatan di beberapa jembatan timbang di Jawa Timur adalah 94% kendaraan berat (truk) mengangkut barang melebihi 15% – 30% dari beban standar. Pada pengamatan yang dilakukan di jembatan timbang pada ruas jalan Arteri Jenu – Tuban, Jawa Timur, Prastyanto (2012), menyebutkan bahwa 100% jumlah kendaraan yang diamati (ditimbang) mengangkut muatan yang melebihi beban standar yang telah ditentukan.

Belakangan ini Mochtar (2014) menyatakan bahwa penyebab utama kerusakan jalan adalah air hujan yang berkumpul di bawah perkerasan jalan yang disinyalir menjadi penyebab utama kerusakan dini pada perkerasan jalan, yang tentunya dengan dibarengi adanya muatan yang overloaded dari truk-truk berat. Jadi kombinasi dari adanya air hujan yang menggenang di bawah perkerasan dan truk berat yang bermuatan berlebih menyebabkan lapisan pondasi perkerasan jalan dan subgrade dengan mudah bergerak/goyang dan perkerasan jalan lebih cepat rusak.

Dampak dari beban kendaraan yang bermuatan berlebih adalah meningkatkan nilai EAL. Nilai EAL seringkali disebut juga dengan nilai *damage factor* (DF). Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa nilai EAL dapat dianggap sebagai perbandingan antara beban as aktual dengan beban standar pangkat 4. Ilustrasi tentang pemahaman korelasi beban as kendaraan ke persamaan EAL di atas adalah jika as yang lewat berupa as standar dengan beban 1 kali dengan berat as sama dengan beban as standar, maka beban as tersebut mempunyai faktor merusak (*damage factor*, *DF*) jalan sebesar 1 kali. Jika beban as yang lewat adalah 2 kali lebih besar daripada beban as standar (*overloaded*), maka nilai DF as tersebut adalah minimal 16 ( $16 = 2^4$ , harga A antara 4,0 s/d 4,61) kali dari beban standar 8,16 ton. Artinya jika beban as tersebut melewati suatu jalan, maka beban as tersebut mempunyai nilai DF jalan setara dengan 16 kali dengan beban as standar 8,16 ton melintas satu kali. Nilai tersebut hanya untuk satu kali kendaraan tersebut lewat. Padahal suatu ruas jalan tentunya akan dilewati berbagai jenis dan beban

kendaraan dengan volume lalu lintas tertentu pula. Firdaus (1999) menyebutkan bahwa kelebihan muatan pada kendaraan 2 as sebesar 85,25% dari total kendaraan akan meningkatkan faktor merusak (*damage faktor*) sebesar 1077,81%; dan untuk kendaraan 3 as sebesar 82,20% akan meningkatkan *damage faktor* sebesar 1001,92%.

Hasil survey yang telah dilakukan di beberapa ruas jalan di Jawa Timur yang dilakukan oleh Hartono dan Nawawi (1991), dan Mochtar (1999b) terhadap perbedaan nilai EAL total berdasarkan data Weight in Motion, WIM seperti yang disajikan pada Tabel 1.1. Pada tabel tersebut terlihat dengan jelas bahwa nilai EAL total berdasarkan data WIM mempunyai nilai 4 sampai dengan 5 kali terhadap nilai EAL berdasarkan cara Bina Marga dengan sistem *traffic counting survey*. Hal tersebut juga berarti pula bahwa jalan akan rusak dalam waktu 1/4 sampai dengan 1/5 terhadap umur rencana. Artinya perkerasan jalan tersebut diperkirakan akan rusak pada umur 2 sampai dengan 2,5 tahun atau terjadi kerusakan dini. Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa di beberapa ruas jalan, terutama yang dilalui kendaraan berat, kerusakan jalan terjadi kurang dari 1 tahun sejak jalan diperbaiki. Hal ini menunjukkan (diduga) bahwa muatan yang diangkut adalah lebih besar dari hasil pengamatan yang dilakukan oleh Mochtar (1999b). Ilustrasi dampak beban *overloaded* terhadap perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Tabel 1.1. Perbandingan Harga Total EAL antara Perhitungan Berdasarkan Hasil Survery WIM (*Weight in Motion*) dan Hasil Perkiraan Menurut Cara Bina Marga (1987) untuk Beberapa Ruas Jalan di Jawa Timur, untuk Umur Rencana 20 Tahun.

Ruas Jalan	Total EAL sesungguhnya menurut survey WIM
	Total EAL perkiraan menurut cara Bina Marga (1987)
Gempol-Sidoarjo	4,35:1 (sumber Hartono dan Nawawi, 1991)
Pandaan-Gempol	5,13:1 (sumber Hartono dan Nawawi, 1991)
Gedeg-Ploso, Mojokerto	5,03:1 (sumber Mochtar, 1999b)
Wonokromo-Sepanjang	4,91:1 (sumber Mochtar, 1999b)

Sumber : Mochtar (1999b)



Gambar 1.1. Contoh perkerasan jalan yang tidak mampu menerima beban *overloaded* (sumber : Mochtar, 1999b)

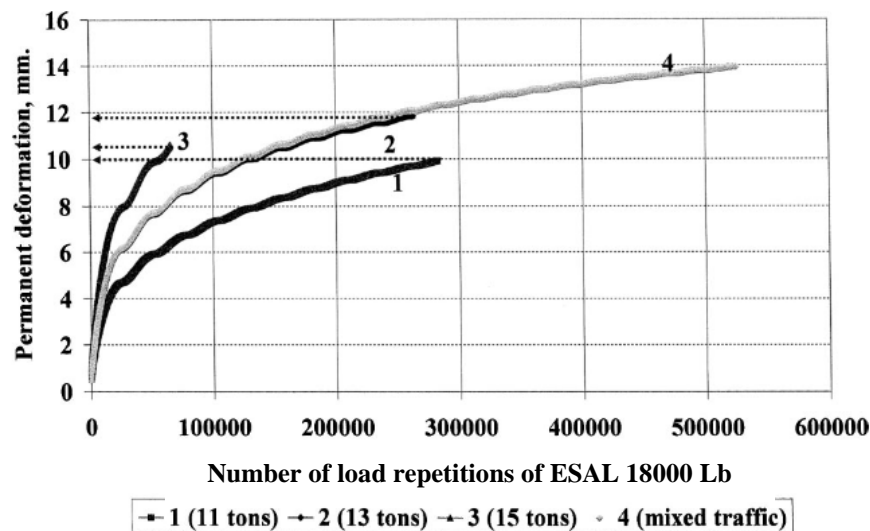
Pada kasus kerusakan jalan di Indonesia, kerusakan jalan sering terjadi pada ruas jalan yang dilalui kendaraan truk berat. Kerusakan perkerasan jalan sering kali diawali dengan adanya penurunan pada lapisan perkerasan aspal. Lokasi penurunan perkerasan aspal pada umumnya banyak dijumpai di daerah lintasan roda (*wheel path*). Jenis kerusakan pada perkerasan aspal seperti ini sering disebut dengan istilah alur (*rutting*). *Rutting* disebabkan adanya akumulasi *permanent deformation* pada setiap lapisan pada struktur perkerasan jalan (Huang, 2004). Terjadinya *permanent deformation* dipengaruhi oleh adanya *compressive strain* (regangan tekan) pada bagian atas lapisan tanah dasar atau *subgrade* (Asphalt Institute, 1982). Ilustrasi kerusakan alur pada perkerasan jalan lentur dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Contoh kerusakan alur dan deformasi permanen pada perkerasan jalan lentur

Gambar 1.2 adalah contoh kerusakan alur yang terjadi pada jalur pantura ruas Lamongan – Tuban yang dilalui kendaraan truk berat. Berdasarkan pengamatan di lapangan, peneliti menduga bahwa alur tidak hanya terjadi pada lapisan permukaan aspal, tapi sudah sampai pada lapisan tanah dasar. Besarnya alur tersebut diduga akibat dari beban kendaraan dengan muatan *overloaded*. Menurut Uzan (2004) bahwa semakin besar beban yang *overloaded* semakin besar nilai *rutting-nya* (lihat Gambar 1.3). Jenis kerusakan alur yang terjadi sampai tanah dasar sering disebut juga deformasi permanen (*permanent deformation*). Pada Gambar 1.3 terlihat dengan jelas, bahwa untuk beban as 15 ton (no. 3) dengan jumlah repitisi

$\pm 50000$  mempunyai nilai *permanent deformation* terbesar dibandingkan dengan beban as yang lainnya. Melihat *trend line* yang tergambar, diperkirakan nilai *permanent deformation* akan semakin besar seiring bertambahnya jumlah reptisi beban.



Gambar 1.3. *Permanent deformation* dengan berbagai beban as kendaraan (Uzan, 2004)

Berdasarkan jenis kerusakan yang terjadi pada jalan yang dilewati kendaraan berat (*overloaded*) seperti pada Gambar 1.2, dapat dijelaskan bahwa tipikal kerusakan tersebut bukan merupakan akibat dari *fatigue cracking* yang terjadi oleh lapisan perkerasan aspal. Akan tetapi, kerusakan tersebut lebih sesuai akibat beban kendaraan yang *overloaded* yang menyebabkan terjadinya *permanent deformation* pada seluruh lapisan konstruksi perkerasan jalan. Berdasarkan kondisi tersebut, disinyalir nilai EAL (*fatigue cracking*) yang selama ini digunakan untuk merencanakan sebuah konstruksi perkerasan jalan mempunyai nilai yang jauh lebih kecil daripada nilai yang sesungguhnya terjadi di lapangan. Idealnya, nilai EAL yang digunakan untuk perhitungan didasarkan pada pendekatan teori *permanent deformation* seperti yang terjadi di lapangan. Huang (2004) menyarankan, untuk kondisi jalan seperti di Indonesia, persamaan EAL harus didasarkan pada teori *permanent deformation*. Hal tersebut dikarenakan pada kasus kerusakan *permanent deformation*, kerusakan cenderung terjadi pada semua lapisan perkerasan mulai dari

lapisan permukaan sampai pada lapisan tanah dasar. Perlu diketahui bahwa sampai dengan saat ini belum ada persamaan EAL yang didasarkan pada *permanent deformation*. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu penelitian untuk mendapatkan persamaan EAL yang didasarkan pada teori *permanent deformation*.

Pada jalan yang sudah mengalami *permanent deformation*, umumnya lapisan aspal sudah mengalami retak yang cukup dalam sampai pada lapisan base course. Ketika hujan, air akan menggenang pada lokasi tersebut dan air akan dengan mudah masuk ke lapisan pondasi perkerasan. Beban roda kendaraan yang melintas pada jalan yang rusak tersebut dapat mengakibatkan terjadinya pumping yang dapat merusak lapisan *base course* dan *sub-base course*, kemungkinan juga sampai merusak pada lapisan *sub-grade*. Beban kendaraan yang terus menerus (sebagai beban berulang) melewati jalan yang tergenang air juga dimungkinkan akan menyebabkan *sub-grade* menjadi lunak, sehingga daya dukungnya semakin kecil ( $\text{CBR} \approx 0\%$ ). Akibatnya tingkat kerusakan *permanent deformation* akan semakin tinggi. Kondisi tersebut membuktikan bahwa musim penghujan, terutama jika ada air hujan yang dapat meresap sampai pada pondasi struktur perkerasan jalan, sangat berpengaruh terhadap kestabilan struktur perkerasan jalan.

Seperti yang diuraikan di atas bahwa nilai EAL sangat tergantung pada beban kendaraan yang didistribusikan ke masing-masing as kendaraan. Beban kendaraan yang melintasi perkerasan jalan adalah sangat beragam, yakni dari yang paling ringan sampai dengan paling berat. Terutama pada truk berat dengan beban yang overloaded, banyak dijumpai jalan-jalan yang dilalui kendaraan tersebut pada umumnya mengalami kerusakan deformasi permanen. Hal tersebut diduga juga akan berpengaruh terhadap besarnya nilai EAL yang terjadi. Untuk itu, perlu ada suatu kajian yang mendetil untuk membuktikan sejauh mana pengaruh variasi beban as kendaraan terhadap nilai EAL yang didasarkan pada pendekatan teori deformasi permanen.

Besarnya nilai EAL yang didasarkan pada teori deformasi permanen pada perkerasan lentur sangat tergantung pada besarnya nilai modulus elastisitas ( $E$ ) struktur perkerasan jalan, regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ), dan lendutan ( $d$ ) tepat di bawah ban dengan beban dan tekanan ban ( $q$ ) tertentu, Huang (2004). Pada teori tersebut



dijelaskan bahwa faktor utama yang mempengaruhi nilai EAL adalah nilai lendutan perkerasan jalan akibat beban as kendaraan. Umumnya, pada struktur perkerasan yang cukup tebal akan memberikan nilai kekakuan (E) yang cukup tinggi, sehingga nilai lendutan perkerasan jalan yang terjadi akibat beban as kendaraan adalah relatif kecil. Namun demikian, hal tersebut tentunya perlu dibuktikan dengan melakukan penelitian langsung di lapangan.

Terdapat dua peralatan yang umum dipakai untuk mengukur lendutan pada perkerasan lentur, yaitu alat *Benkleman Beam (BB)* dan *Falling Weight Deflectometer (FWD)* dengan beban standar 8,16 ton. Dari kedua alat tersebut, jenis alat yang banyak tersedia hampir di setiap kabupaten adalah alat BB. Sedangkan alat FWD hanya sedikit sekali ketersediannya, kemungkinan hanya ada di ibu kota provinsi. Selain itu, dibutuhkan orang-orang sudah terlatih untuk mengoperasikan alat tersebut dengan biaya operasional relatif mahal. Namun demikian, alat FWD mempunyai banyak keunggulan daripada alat BB.

Nilai lendutan yang didapat dari pengujian dengan alat tersebut di atas pada umumnya equivalent dengan beban standar untuk *Single Axle Dual Wheel (SADW)* sebesar 8,16 ton (18000 lbs) dengan tekanan ban 80 psi. Kondisi tersebut tentu tidak sesuai dengan kondisi di lapangan dimana hampir sebagian besar truk berat mengangkut muatan melebihi standar angkut yang diijinkan (*overloaded*). Beban *overloaded* tersebut tentunya akan berpengaruh terhadap besarnya nilai lendutan yang terjadi pada perkerasan yang dilaluinya. Se jauh-mana pengaruh beban *overloaded* terhadap nilai lendutan perkerasan jalan yang terjadi dibutuhkan pembuktian pengujian lendutan perkerasan jalan dengan berbagai variasi beban as kendaraan.

Pada kendaraan dengan beban yang *overloaded* mempunyai kecenderungan untuk memompa ban dengan tekanan yang cukup tinggi. Selain untuk menambah kekuatan ban, alasan lainnya adalah supaya tidak terjadi gesekan antar sisi ban ketika sedang berjalan (bisa menyebabkan ban meletus). Untuk kendaraan dengan muatan *overloaded* seperti di Indonesia, hampir semua truk memompa bannya dengan tekanan angin diatas 120 psi bahkan ada yang sampai 150 psi untuk ban baru, Santosa dan Mochtar (1996). Dari hasil pengukuran

langsung di lapangan menunjukkan bahwa tekanan ban truk berat pengangkut material bangunan berkisar antara 150 – 185 psi, Prastyanto (2016). AASHTO (1993) menyebutkan bahwa tekanan ban yang disyaratkan adalah sebesar 80 psi.

Dampak dari penggunaan tekanan ban yang tinggi dapat meningkatkan regangan tarik pada lapisan di bawah perkerasan aspal (Machemehl at.all, 2005). Regangan tarik menyebabkan terjadi retak pada perkerasan aspal (*fatigue cracking*). Selain regangan tarik, dampak dari tekanan ban yang tinggi akan meningkatkan terjadinya regangan tekan (regangan vertikal,  $\epsilon_z$ ) pada lapisan di atas tanah dasar (subgrade) terutama pada perkerasan yang tipis (Ullidtz, 1987). Regangan vertikal tersebut yang menyebabkan terjadinya deformasi permanen (*permanent deformation*) pada perkerasan jalan. Seberapa besar pengaruh penggunaan tekanan ban yang tinggi terhadap besarnya nilai EAL tentunya dibutuhkan penelitian yang lebih detil.

Ditinjau dari lokasi kerusakan jalan, kerusakan jalan tidak hanya terjadi pada jalan umum yaitu ruas jalan arteri, tetapi juga terjadi pada jalan kolektor. Selain itu, kerusakan juga terjadi di jalan-jalan akses suatu pabrik yang dibangun secara mandiri oleh perusahaan (sering disebut jalan khusus). Dari ketiga ruas jalan tersebut, tingkat kerusakan yang terjadi pada jalan kolektor yang dilewati angkutan berat pada umumnya lebih parah daripada kerusakan yang terjadi pada ruas jalan arteri dan jalan khusus, meskipun jumlah lalu lintas jalan arteri lebih besar dari jalan kolektor. Perbedaan tingkat kerusakan tersebut diduga disebabkan oleh adanya perbedaan ketebalan dan kekakuan struktur perkerasan jalan pada jalan tersebut. Berdasarkan urutan ketebalan struktur perkerasan jalan, pada umumnya ruas jalan arteri mempunyai ketebalan yang paling tebal selanjutnya disusul jalan khusus dan jalan kolektor.

Dari semua uraian di atas, beberapa hipotesa awal yang perlu untuk dibuktikan kebenarannya antara lain :

- Hipotesa 1. Kendaraan (truk) berat yang membawa beban yang overloaded dengan tekanan ban yang tinggi akan menghasilkan nilai EAL aktual yang lebih besar daripada nilai EAL rencana.
- Hipotesa 2. Adanya ketidaksesuaian penggunaan persamaan EAL, didasarkan pada teori *fatigue cracking*, yang selama ini digunakan untuk

merencanakan tebal struktur perkerasan jalan. Untuk kasus beban *overloaded* seperti yang terjadi di Indonesia, jenis kerusakan jalan yang sering terjadi adalah jenis kerusakan deformasi permanen, sehingga persamaan EAL yang sesuai seharusnya didasarkan pada teori deformasi permanen.

Hipotesa 3. Besarnya nilai EAL yang didasarkan pada teori *permanent deformation* diduga akan menghasilkan nilai EAL yang lebih besar daripada berdasarkan fatigue cracking. Hal tersebut karena banyak jalan yang dilalui kendaraan berat selalu mengalami kerusakan dini. Sedangkan jalan yang tidak dilalui kendaraan berat mempunyai umur yang relatif lebih lama.

Hipotesa 4. Adanya perbedaan nilai EAL yang cukup signifikan antara nilai EAL yang didasarkan pada teori fatigue cracking dan deformasi permanen akibat beban as kendaraan yang overloaded.

Untuk mengetahui kebenaran hipotesa tersebut di atas, tentunya diperlukan penelitian atau uji coba langsung di lapangan. Hasil penelitian diharapkan mampu menjawab pertanyaan apakah hipotesa di atas benar atau tidak, atau mungkin dengan berjalannya penelitian ini akan muncul hipotesa lain yang lebih sesuai dengan kenyataan di lapangan.

Harapan dari penelitian ini adalah mendapatkan suatu persamaan EAL baru yang didasarkan pada pendekatan teori *permanent deformation*. Persamaan tersebut nantinya dapat digunakan sebagai acuan untuk merencanakan tebal struktur perkerasan jalan jalan raya (*flexible pavement*) pada jalan-jalan yang dilalui kendaraan (truk) berat dengan beban yang overloaded. Dengan demikian, masalah kerusakan dini yang selama ini terjadi pada jalan-jalan yang dilalui truk berat dapat diselesaikan. Secara tidak langsung hasil penelitian ini ikut membantu menyelesaikan masalah kerusakan jalan yang berskala nasional.

## **1.2. Permasalahan**

Untuk membuktikan kebenaran hipotesa di atas, beberapa pertanyaan yang perlu dijawab pada penelitian ini adalah :

1. Sejauh mana pengaruh penggunaan tekanan ban yang tinggi terhadap nilai EAL?
2. Seberapa besar pengaruh peningkatan nilai lendutan perkerasan jalan akibat beban as kendaraan terhadap bentuk persamaan EAL?
3. Bagaimana hubungan antara peningkatan nilai lendutan perkerasan jalan dan nilai EAL terhadap kerusakan dini pada perkerasan jalan lentur yang dilewati kendaraan (truk) berat?
4. Bagaimana bentuk persamaan EAL yang didasarkan pada pendekatan teori deformasi permanen (*permanent deformation*) yang dapat dijadikan acuan untuk perhitungan tebal struktur perkerasan jalan lentur?
5. Seberapa besar perbedaan dampak penambahan beban as kendaraan terhadap bentuk persamaan EAL berdasarkan teori deformasi permanen (*permanent deformation*) dan retak lelah (*fatigue cracking*)?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab permasalahan pada penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan tekanan ban yang tinggi terhadap bentuk persamaan EAL
2. Mengetahui seberapa besar perbedaan dampak penambahan beban as kendaraan terhadap bentuk persamaan EAL berdasarkan teori deformasi permanen (*permanent deformation*) dan retak lelah (*fatigue cracking*)
3. Mengetahui hubungan antara peningkatan nilai lendutan perkerasan jalan akibat beban as kendaraan terhadap bentuk persamaan EAL
4. Mengetahui bentuk persamaan EAL yang didasarkan pada pendekatan teori deformasi permanen (*permanent deformation*) yang dapat dijadikan acuan untuk perhitungan tebal struktur perkerasan jalan lentur?
5. Mengetahui seberapa besar perbedaan dampak penambahan beban as kendaraan terhadap bentuk persamaan EAL berdasarkan teori deformasi permanen (*permanent deformation*) dan retak lelah (*fatigue cracking*).

#### 1.4. Batasan Penelitian

Beberapa lingkup kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian akan dilaksanakan pada jalan akses menuju kawasan industri PT. Semen Indonesia, jalan Arteri ruas Tuban – Jenu dan jalan Kolektor (ring road) di Kota Tuban
2. Melakukan pengujian lendutan perkerasan lentur dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD), *Benkleman Beam* (BB) dan, *Linier Variable Displacement Transducer* (LVDT) pada kondisi musim penghujan.
3. Melakukan analisis terhadap data-data yang didapat dari hasil pengamatan di lapangan untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL.
4. Dalam proses analisis lapisan struktur perkerasan diasumsikan sebagai suatu lapisan yang homogen yang bersifat elastis.
5. Tidak memasukkan faktor air tanah dalam proses analisis.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi bentuk persamaan EAL baru yang didasarkan pada *permanent deformation*. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk merencanakan tebal struktur perkerasan jalan raya baru maupun untuk merencanakan tebal lapis tambahan (tebal overlay) pada jalan-jalan yang dilalui kendaraan (truk) berat dengan beban yang standar maupun yang overloaded. Hasil perencanaan dapat memberikan gambaran tentang kebutuhan tebal konstruksi perkerasan jalan yang harus disediakan untuk melayani beban kendaraan yang *overloaded*. Hasil penelitian ini diharapkan mampu mengurangi banyaknya kerusakan dini yang selama ini terjadi. Secara tidak langsung hasil penelitian ini ikut membantu penyelesaian masalah kerusakan jalan yang berskala nasional.

#### 1.6. Originalitas Penelitian (State of the Art)

*Equivalent Axle Load*, EAL adalah salah satu faktor yang dominan sebagai data input untuk merencanakan konstruksi perkerasan jalan. Besarnya nilai EAL

sangat dipengaruhi oleh berat total kendaraan, konfigurasi dan beban sumbu kendaraan. *American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO (1972)* telah menetapkan beban as standar sebesar 18000 kip atau 8,16 ton untuk sumbu tunggal roda ganda (*single axle dual wheel, SADW*). Di Indonesia, cara perhitungan EAL berdasarkan *fatigue cracking* juga dijadikan referensi pada Tata Cara Perencanaan Tebal Perkerasan dengan Analisa Komponen (SNI 03-1732-1989) yang diterbitkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga. Beban standar untuk *single axle* yang digunakan sebesar 8,16 ton dan untuk *tandem axle* nilai EAL dikalikan faktor sebesar 0,086. Pada Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B) dan Manual Desain Perkerasan (Bina Marga 2013) tidak menggunakan faktor pengali untuk jenis *tandem* dan *triple axle* melainkan beban standar yang digunakan untuk menghitung nilai EAL dibedakan berdasarkan jenis axle kendaraan, yakni 8,16 ton untuk *single axle*, 13,76 ton untuk *tandem axle* dan 18,45 ton untuk *triple axle*.

Berdasarkan AAHSTO, pendekatan teori yang digunakan untuk mendapatkan persamaan EAL didasarkan pada teori *fatigue cracking*. Secara umum bentuk persamaan EAL adalah :

$$EAL = a \left( \frac{P_i}{P_{standart}} \right)^b$$

dimana :

a, b : konstanta yang tergantung pada beban as dan konfigurasi sumbus kendaraan

$P_i$  : beban aktual

$P_{standart}$  : beban standar sebesar 18000 kip atau 8,16 ton

Berdasarkan acuan perencanaan yang ada, Bina Marga, (1979) dan AASHTO (1972), nilai EAL adalah fungsi pangkat empat. Bentuk rumusan EAL adalah:

$$\text{➤ As tunggal, } EAL = \left( \frac{P}{8,16} \right)^4 \dots\dots\dots (1.1)$$

$$\text{➤ As tandem, } EAL = 0,086 \left( \frac{P_{tandem}}{8,16} \right)^4 \dots\dots\dots (1.2)$$

Febrianto dan Mochtar (1994) berpendapat bahwa pada Persamaan (1.1) dan (1.2) dengan pangkat 4 masih terlalu kecil, sehingga persamaan tersebut (sebagai harga rata-rata) diusulkan menjadi:

➤ As tunggal,  $EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,352}$  ..... (1.3)

➤ As tandem,  $EAL = 0,086 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,352}$  ..... (1.4)

➤ As Triple,  $EAL = 0,0148 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,352}$  ..... (1.5)

Pada studi korelasi EAL ditinjau dari dampak kerusakan jalan berdasarkan kondisi subgrade yang dilakukan oleh Irmawan dan Mochtar (1990) dengan cara numerik dan empiris, bentuk persamaan EAL diusulkan menjadi:

➤ As tunggal,  $EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,51}$  ..... (1.6)

➤ As tandem,  $EAL = 0,0654 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,51}$  ..... (1.7)

➤ As Triple,  $EAL = 0,01 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,51}$  ..... (1.8)

Hasil penelitian muatan berlebih di lapangan untuk Bina Marga Jawa Timur, Mochtar (1999b), bentuk persamaan EAL diusulkan menjadi:

➤ As tunggal,  $EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,5}$  ..... (1.9)

➤ As tandem,  $EAL = 0,08 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,5}$  ..... (1.10)

➤ As Triple,  $EAL = 0,016 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,5}$  ..... (1.11)

Pihak lain, *Traffic and Road Research Laboratory*, TRRL di Inggris pada *Road Note 40* mengusulkan untuk beban as tunggal dengan persamaan:

➤ As tunggal,  $EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,55}$  ..... (1.12)

P = beban as dalam ton

Pada acuan Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B) Bina Marga dan Austoroads (1992), persamaan EAL yang digunakan adalah:

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left(\frac{P}{5,40}\right)^4 \dots\dots\dots (1.13)$$

$$\text{➤ SADW, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^4 \dots\dots\dots (1.14)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = \left(\frac{P}{13,76}\right)^4 \dots\dots\dots (1.15)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = \left(\frac{P}{18,45}\right)^4 \dots\dots\dots (1.16)$$

Evaluasi terhadap rumusan EAL juga telah dilakukan oleh Lubis dan Mochtar (2009). Beban as kendaraan dibedakan menjadi empat jenis yaitu single axle single wheel (SASW), single axle dual wheel (SADW), tandem axle dual wheel (TADW) dan Triple axle dual wheel (TrADW). Hasil persamaan EAL adalah :

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left(\frac{P}{4,08}\right)^{4,61} \dots\dots\dots (1.17)$$

$$\text{➤ SADW, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,61} \dots\dots\dots (1.18)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = 0,266 \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,61} \dots\dots\dots (1.19)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = 0,028 \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,61} \dots\dots\dots (1.20)$$

Pada acuan Manual Desain Perkerasan (No. 02/M/BM/2013) Bina Marga, persamaan EAL yang digunakan adalah:

Untuk mendesain pelaburan tipis (Burda) dan struktur perkerasan tanpa penutup :

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left(\frac{P}{5,40}\right)^4 \dots\dots\dots (1.21)$$

$$\text{➤ SADW, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^4 \dots\dots\dots (1.22)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = \left(\frac{P}{13,76}\right)^4 \dots\dots\dots (1.23)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = \left(\frac{P}{18,45}\right)^4 \dots\dots\dots (1.24)$$



Untuk mendesain struktur perkerasan lentur :

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left( \frac{P}{5,40} \right)^5 \dots\dots\dots (1.25)$$

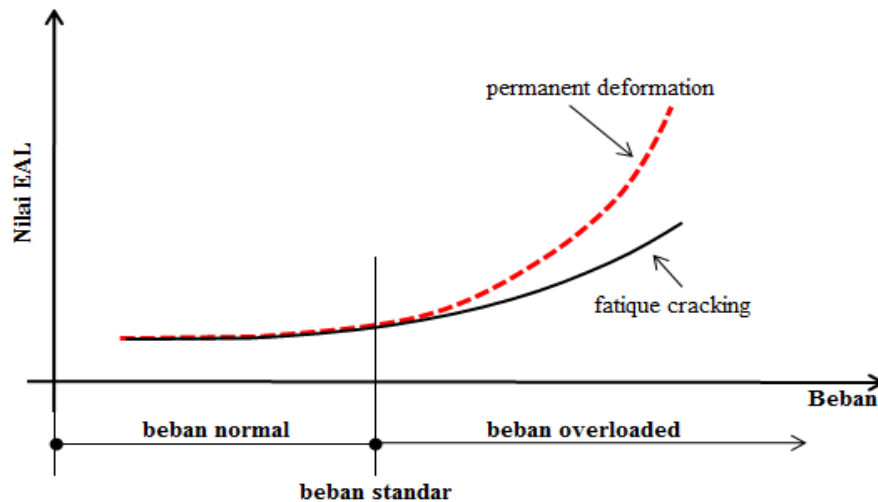
$$\text{➤ SADW, } EAL = \left( \frac{P}{8,16} \right)^5 \dots\dots\dots (1.26)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = \left( \frac{P}{13,76} \right)^5 \dots\dots\dots (1.27)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = \left( \frac{P}{18,45} \right)^5 \dots\dots\dots (1.28)$$

Perlu diketahui bahwa persamaan korelasi EAL di atas masih berdasarkan pada *fatigue cracking* yang terjadi pada lapisan aspal (*surface*). Sedangkan untuk kondisi jalan seperti di Indonesia yang dilalui kendaraan berat dengan beban *overloaded*, pendekatan *permanent deformation* akan lebih sesuai daripada *fatigue cracking* (Huang, 2004). Hal tersebut dikarenakan, pada kasus beban *overloaded* kerusakan perkerasan jalan yang terjadi didominasi dengan terjadi *permanent deformation* pada perkerasan jalan. Kerusakan *permanent deformation* tidak hanya terjadi pada lapisan permukaan saja, melainkan juga terjadi pada semua lapisan perkerasan sampai dengan tanah dasar (*subgrade*).

*Permanent deformation* pada perkerasan lentur akibat beban *overloaded* kemungkinan akan berpengaruh bukan hanya pada konstanta pangkatnya saja yang berubah tetapi juga pada bentuk persamaan EAL-nya. Harga EAL total rata-rata selama umur rencana 20 tahun ternyata sekitar  $\pm 5$  kali dari perhitungan Bina Marga (Tabel 1.1). Jadi dapat disimpulkan dengan umur rencana semula 10 tahun diperkirakan umur perkerasan jalan menjadi hanya  $\pm 2$  tahun. Akan tetapi kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa kerusakan dini terjadi pada umur kurang dari 1 tahun. Hal tersebut dapat diprediksi bahwa *permanent deformation* akibat beban *overloaded* menghasilkan harga EAL total yang jauh lebih besar daripada EAL berdasarkan *fatigue cracking*. Ilustrasi tentang perkiraan pengaruh beban *overloded* terhadap harga EAL total berdasarkan *permanent deformation* dan *fatigue cracking* dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Ilustrasi perkiraan pengaruh beban as kendaraan terhadap nilai EAL

Terlihat pada Gambar 1.4 bahwa untuk beban normal sampai dengan beban standar, diperkirakan tidak ada perbedaan yang besar antara EAL berdasarkan *permanent deformation* dengan *fatigue cracking*. Sebaliknya, pada beban yang *overloaded* diprediksi nilai EAL berdasarkan *permanent deformation* mempunyai nilai yang jauh lebih besar daripada EAL berdasarkan *fatigue cracking*. Jika demikian yang terjadi, jadi sangat wajar sekali jika jalan kita rusak sebelum umur rencana jalan tercapai.

Kerusakan perkerasan tidak hanya terjadi pada jalan-jalan utama (arteri), tetapi terjadi juga pada ruas jalan kolektor dan khusus. Tingkat atau keparahan kerusakan juga berbeda. Meskipun dengan beban dan volume lalu lintas yang sama, pada umumnya tingkat kerusakan yang terjadi pada ruas jalan kolektor adalah paling tinggi selanjutnya disusul jalan khusus dan arteri. Kondisi tersebut diduga karena adanya perbedaan tebal dan jenis material konstruksi perkerasan jalan pada ruas jalan tersebut.

Selain perbedaan ketebalan konstruksi perkerasan jalan, tekanan ban juga dicurigai turut andil mempengaruhi persamaan EAL. Dengan muatan yang standar, umumnya roda kendaraan truk dipompa dengan tekanan angin yang disyaratkan yaitu 80 psi (AASHTO 1993). Untuk kendaraan dengan muatan berlebih seperti di Indonesia, hampir semua truk memompa bannya dengan tekanan angin diatas 120 psi bahkan ada yang sampai 150 psi untuk ban baru (Santosa dan Mochtar, 1996).

Prastyanto (2016) menyebutkan tekanan ban untuk truk berat pengangkut material bangunan berkisar antara 150 – 185 psi.

Dampak dari menggunakan tekanan ban yang tinggi dapat meningkatkan regangan tarik pada lapisan di bawah perkerasan aspal (Machemehl at.all, 2005). Regangan tarik menyebabkan terjadi retak pada perkerasan aspal (*fatigue craking*). Selain regangan tarik, dampak dari tekanan ban yang tinggi akan meningkatkan terjadinya regangan tekan pada lapisan di atas tanah dasar (subgrade) terutama pada perkerasan yang tipis (Ullidtz, 1987). Regangan tersebut menyebabkan terjadinya deformasi permanen (*permanent deformation*) pada perkerasan jalan.

Berdasarkan uraian di atas, dapat dijelaskan beberapa perbedaan dengan penelitian yang sebelumnya, antara lain :

1. Persamaan EAL akan dicari berdasarkan *permanent deformation* pada perkerasan jalan lentur sebagai dampak dari kendaraan dengan beban *overloaded*
2. Persamaan EAL juga akan dievaluasi terhadap:
  - Variasi beban as kendaraan
  - Variasi tekanan ban
  - Ruas jalan arteri, kolektor dan khusus.

Gambaran tentang penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti tentang masalah EAL untuk perencanaan perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Beberapa hasil penelitian tentang *Equivalent Axle Load (EAL)*

	Parameter	Hasil Kajian	Fatigue cracking		Permanent Deformation		Keterangan
			Beban Standar	Beban Overloaded	Beban Standar	Beban Overloaded	
Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur	Equivalen Axle Load, EAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Single, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^4</math></li> <li>➤ Tandem, <math>EAL = 0,086 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^4</math></li> </ul>	●				AASHTO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Single, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,352}</math></li> <li>➤ Tandem, <math>EAL = 0,086 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,352}</math></li> <li>➤ Triple, <math>EAL = 0,0148 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,352}</math></li> </ul>		●			Febriantoro dan Mochtar (1994)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Single, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,51}</math></li> <li>➤ Tandem, <math>EAL = 0,0654 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,51}</math></li> <li>➤ Triple, <math>EAL = 0,01 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,51}</math></li> </ul>		●			Irmawan dan Mochtar (1990)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Single, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,5}</math></li> <li>➤ Tandem, <math>EAL = 0,08 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,5}</math></li> <li>➤ Triple, <math>EAL = 0,016 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,5}</math></li> </ul>		●			Mochtar (1999b)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Single, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,55}</math></li> </ul>	●				Traffic and Road Research Laboratory (TRRL), Road Note 40

Tabel 1.2. Beberapa hasil penelitian tentang *Equivalent Axle Load (EAL)*, (Lanjutan Tabel 1.2)

	Parameter	Hasil Kajian	Fatigue cracking		Permanent Deformation		Keterangan
			Beban Standar	Beban Overloaded	Beban Standar	Beban Overloaded	
Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur	Equivalen Axle Load, EAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ SASW, <math>EAL = \left(\frac{P}{5,40}\right)^4</math></li> <li>➤ SADW, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^4</math></li> <li>➤ DADW, <math>EAL = \left(\frac{P}{13,76}\right)^4</math></li> <li>➤ TrADW, <math>EAL = \left(\frac{P}{18,45}\right)^4</math></li> </ul>	●				Bina Marga (2005) dan Austroads (1992)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ SASW, <math>EAL = \left(\frac{P}{4,08}\right)^{4,61}</math></li> <li>➤ SADW, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,61}</math></li> <li>➤ DADW, <math>EAL = 0,266 \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,61}</math></li> <li>➤ TrADW, <math>EAL = 0,028 \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,61}</math></li> </ul>	●	●			Lubis dan Mochtar (2009)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ SASW, <math>EAL = \left(\frac{P}{5,40}\right)^4 \text{ dan } 5</math></li> <li>➤ SADW, <math>EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^4 \text{ dan } 5</math></li> <li>➤ DADW, <math>EAL = \left(\frac{P}{13,76}\right)^4 \text{ dan } 5</math></li> <li>➤ TrADW, <math>EAL = \left(\frac{P}{18,45}\right)^4 \text{ dan } 5</math></li> </ul>	●	●			Bina Marga (2013)
		➤ EAL (SASW, SADW, DADW, TrADW)			●	●	<b>TARGET PENELITIAN</b>

Keterangan :

● : yang telah dilakukan

● : yang akan dilakukan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kerusakan Jalan**

Kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan sampai dengan saat ini masih menjadi salah satu masalah yang sering dikeluhkan pengguna jalan. Beberapa faktor umum yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan (Sukirman, 1995):

1. Lalu lintas dengan beban kendaraan yang cenderung meningkat dan repetisi beban.
2. Air yang mampu menembus konstruksi perkerasan dan genangan air yang disekitar perkerasan yang dapat mempengaruhi kestabilan konstruksi perkerasan. Air bisa masuk dari lapisan surface yang biasanya dari air hujan dan dari samping atau bawah karena ada genangan air disekitar perkerasan jalan.
3. Karakteristik material konstruksi perkerasan jalan. Material perkerasan yang digunakan sebagai material perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan material perkerasan jalan.
4. Kondisi iklim atau musim di Indonesia yang terdiri musim kemarau dan penghujan. Pada musim kemarau, suhu udara yang cukup tinggi dapat mempengaruhi perkerasan jalan, terutama lapisan surface. Sedangkan pada musim penghujan, dengan curah hujan yang cukup tinggi kemungkinan perkerasan akan terjadi genangan air pada perkerasan dan daerah sekitar perkerasan jalan.
5. Kondisi tanah dasar (*subgrade*) yang tidak stabil akan berpengaruh terhadap konstruksi perkerasan di atas tanah dasar.
6. Proses pemadatan pada konstruksi perkerasan jalan. Hasil pemadatan yang kurang bagus sangat berpengaruh terhadap kestabilan konstruksi perkerasan secara keseluruhan.

Pada umumnya, kerusakan yang terjadi pada perkerasan jalan tidak disebabkan oleh salah satu faktor saja, melainkan oleh beberapa faktor yang saling

berkaitan. Sebagai contoh kerusakan perkerasan jalan yang diakibatkan oleh lalu lintas dengan muatan yang *overloaded*. Muatan berlebih pada kendaraan niaga atau *overloaded* akhir-akhir ini menjadi topik pembicaraan yang ramai di media masa. Muatan atau beban berlebih adalah berat muatan yang diangkut melebihi berat muatan yang diijinkan. *American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO (1972)* telah menetapkan beban as standart sebesar 18000 kip atau 8,16 ton untuk *single as double wheel* (sumbu tunggal roda ganda). Di Indonesia, Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga, aturan tersebut juga dijadikan referensi pada Tata Cara Perencanaan Tebal Perkerasan dengan Analisa Komponen (SNI 03-1732-1989). Namun pada Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B) menetapkan bahwa beban as standar tergantung dari jumlah as dan susunan roda.

Pada penelitian di beberapa ruas jalan di Jawa Timur, Sutikno dan Mochtar (1991) menyebutkan bahwa kendaraan angkutan barang atau niaga sebagian besar mengangkut barang melebihi beban as kendaraan yang telah ditetapkan. Hasil yang didapat 48,98% as tunggal melebihi 10,5 ton dan sebesar 34,70% as tunggal memiliki beban rata-rata sebesar 16,5 ton (lihat Tabel 2.1). Pada pengamatan yang dilakukan secara random di jembatan timbang PT. Semen Gresik, Prastyanto (2012) menyebutkan bahwa 100% berat total kendaraan berat muatan dan berat kendaraan – yang ditimbang ternyata melebihi berat total kendaraan standar.

Dampak lain akibat beban overloded pada perkerasan jalan lentur adalah terjadinya penurunan permanen arah memanjang jalan pada perkerasan jalan. Penurunan tersebut sering disebut dengan alur atau *rutting* (lihat Gambar 2.1). Pada penelitian *permanent deformation in flexible pavement*, (Uzan J, 2004) menjelaskan bahwa semakin besar beban yang overloaded semakin besar nilai *rutting-nya*. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.3. Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas, bahwa beban as 15 ton (no. 3) dengan jumlah repitisi  $\pm 50000$  mempunyai nilai permanent deformation terbesar dibandingkan dengan beban as yang lainnya. Namun, pada penelitian tersebut belum disinggung pengaruh lingkungan (sistem drainage) terhadap kedalaman rutting.



Tabel 2.1. Komposisi Beban Gandar Kendaraan Niaga pada Jalan Tol Porong-Waru, Jawa Timur (Sumber : Sutikno dan Mochtar, 1991)

Beban gandar rata-rata (ton)	Jumlah gandar	Persen jumlah terhadap total	Persen gandar > 8,0 ton <	Persen gandar > 10,5 ton <
≤ 8,0 ton	146	49,66 %	49,66 %	51,02 %
9,5 ton	2	0,68 %	50,34 %	
10,5 ton	2	0,68 %		
11,5 ton	5	1,70 %		
12,5 ton	2	0,68 %		
13,5 ton	6	2,04 %		
14,5 ton	10	3,40 %		
15,5 ton	19	6,46 %		
16,5 ton	102	34,70 %	48,98 %	
Total	294	100 %		100 %

Catatan : Survey bulan Januari 1990, hasil dalam tabel hanya dipilih khusus untuk truk T 1.2 H (Keadaan hampir serupa untuk jenis-jenis truk yang lainnya).



Gambar 2.1. Tipikal kerusakan alur (*rutting*) pada perkerasan jalan lentur

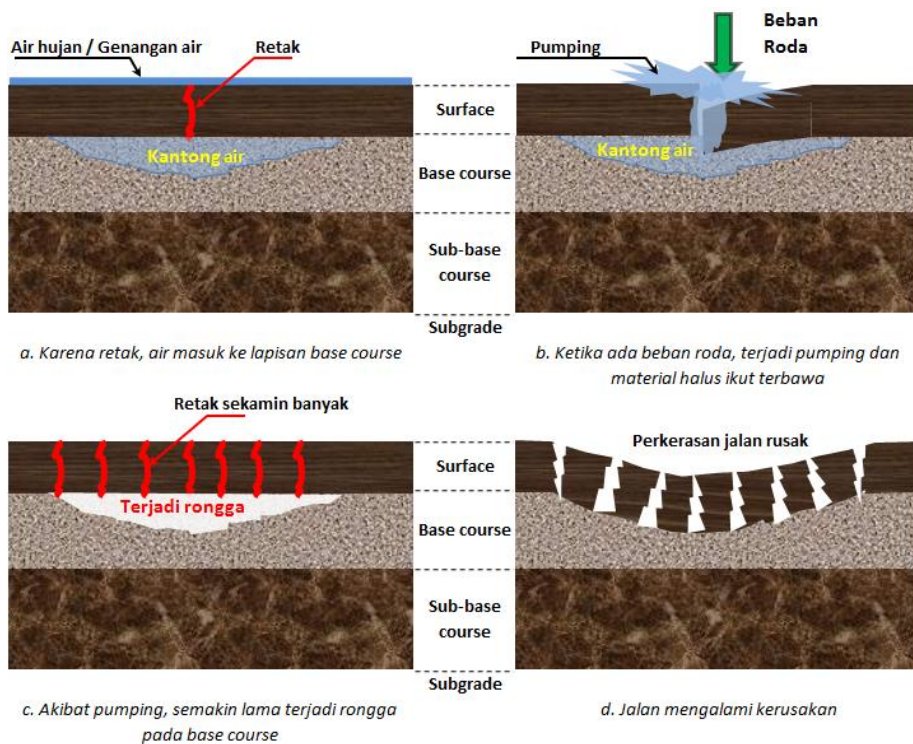
Jika perkerasan sudah mengalami *rutting*, sebaiknya kerusakan tersebut segera ditangani. Terutama pada musim penghujan, *rutting* pada perkerasan jalan tersebut akan berfungsi sebagai tempat untuk menampung air hujan, sehingga akan terjadi genangan pada lokasi tersebut. Genangan air tersebut tidak menutup kemungkinan akan masuk kedalam konstruksi perkerasan, terutama jika lapisan *surface* sudah mengalami retak yang sampai pada lapisan di bawahnya. Jika ini terjadi, tidak lama lagi perkerasan jalan akan rusak. Akan lebih parah lagi jika pada alur tersebut sudah terjadi retak sampai ke tanah dasar (*subgrade*).

Contoh lain kerusakan perkerasan jalan yang disebabkan oleh genangan air. Genangan air biasanya terjadi pada saat musim penghujan dengan sistem drainase disekitar jalan yang tidak berfungsi dengan baik dan pada perkerasan jalan yang mengalami *permanent deformation*. Jika genangan air tersebut terlalu lama menggenangi perkerasan jalan dan sekitarnya, genangan tersebut dapat mempengaruhi stabilitas lapisan pondasi perkerasan seperti *base*, *sub-base* dan *subgrade*. Kondisi tersebut akan lebih parah lagi jika kondisi *surface* perkerasan sudah mengalami retak dengan kedalaman retak sampai dengan lapisan pondasi perkerasan.

Pada lapisan *surface* yang mengalami retak, air genangan akan dengan mudah masuk ke lapisan pondasi perkerasan. Air tersebut mengakibatkan lapisan tanah *subgrade* dan lapisan pondasi perkerasan menjadi lunak. Ketika jalan tersebut dilewati kendaraan, air yang ada dalam lapisan tersebut akan tertekan (tergencet). Pada saat air tertekan, air akan dengan mudah mengalir ke permukaan jalan. Pada saat air naik ke atas, material halus pada lapisan di bawah *surface* ikut terbawa. Lama-kelamaan, dengan lalu lintas yang terus menerus melintasi jalan tersebut, akan tercipta rongga di bawah lapisan *surface*. Selanjutnya, tidak lama lagi jalan tersebut akan mengalami kerusakan. Contoh kerusakan jalan akibat genangan air dapat dilihat pada Gambar 2.2. Proses kerusakan jalan sebagai akibat pengaruh perubahan cuaca dapat dilihat pada Gambar 2.3.



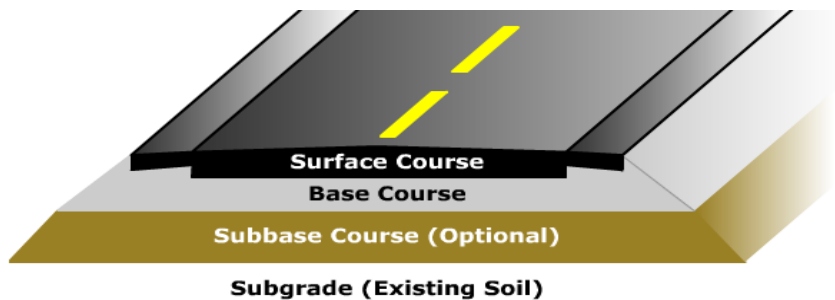
Gambar 2.2. Contoh kerusakan perkerasan jalan akibat genangan air  
(sumber : <http://bachnas.staff.uui.ac.id>)



Gambar 2.3. Proses kerusakan perkerasan jalan akibat genangan air

## 2.2. Karakteristik Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Secara umum definisi perkerasan adalah suatu lapisan tambahan yang diletakkan di atas jalan tanah dasar. Lapisan tambahan tersebut terdiri dari bahan material yang lebih baik/keras/kaku daripada tanah dasarnya. Tujuannya agar jalan tersebut dapat dilewati oleh kendaraan dengan berat tertentu dengan segala cuaca. Pada umumnya perkerasan terdiri dari lapisan *surface course*, *base course* dan *sub-base course (optional)*, setelah itu baru sub-grade atau tanah dasar (<http://training.ce.washington.edu>). Gambaran susunan konstruksi perkerasan lentur dapat dilihat pada Gambar 2.4.

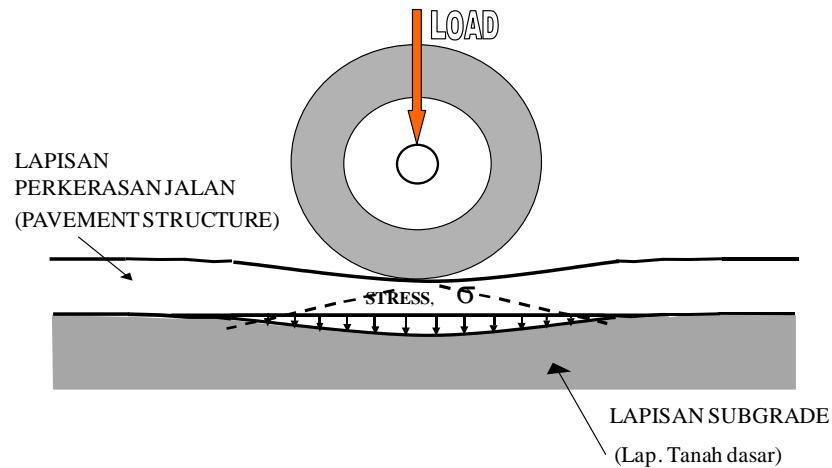


Gambar 2.4. Susunan konstruksi perkerasan lentur  
(Sumber : <http://training.ce.washington.edu>)

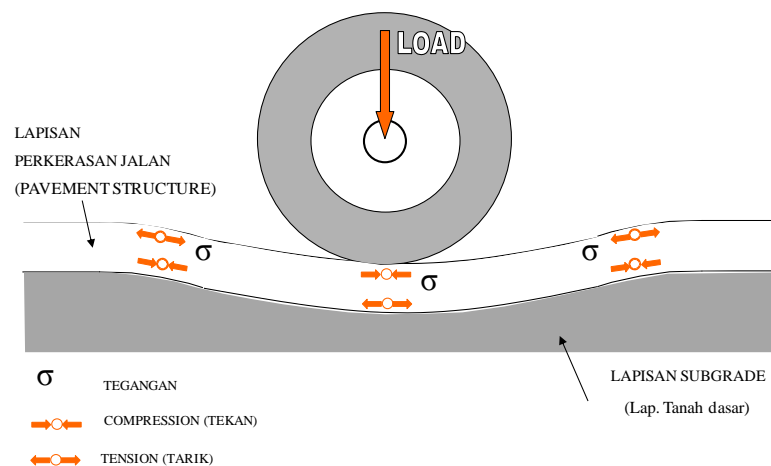
Pada perencanaan konstruksi perkerasan jalan terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan pada hasil perencanaan, yaitu 1) mempunyai tebal total yang cukup; 2) mampu mencegah masuknya air baik dari luar maupun dari dalam perkerasan jalan; 3) mempunyai permukaan yang rata, tidak licin; 4) awet terhadap distorsi oleh beban lalu lintas rencana; dan 5) tahan terhadap segala cuaca. Untuk memenuhi hal-hal tersebut di atas, beberapa parameter pada material perkerasan yang perlu diperhatikan adalah modulus elastisitas perkerasan dan tanah dasar, tegangan, regangan, poisson rasio dan kondisi lingkungan (Huang, 2004).

Pada saat perkerasan jalan menerima beban kendaraan, perkerasan jalan sebagai lapisan pelindung tanah dasar akan meneruskan beban tersebut ke lapisan perkerasan di bawahnya sampai dengan tanah dasar. Tanah dasar harus mempunyai daya dukung yang cukup kuat ketika perkerasan jalan menerima beban lalu lintas. Semakin kuat lapisan perkerasan, semakin kecil beban yang diterima tanah dasar. Distribusi beban pada lapisan perkerasan akibat beban lalu lintas seperti yang

terlihat pada Gambar 2.5 dan 2.6. Sedangkan ilustrasi pengaruh jumlah lapisan perkerasan terhadap pendistribusian beban roda ke lapisan tanah dasar dapat dilihat pada Gambar 2.7.

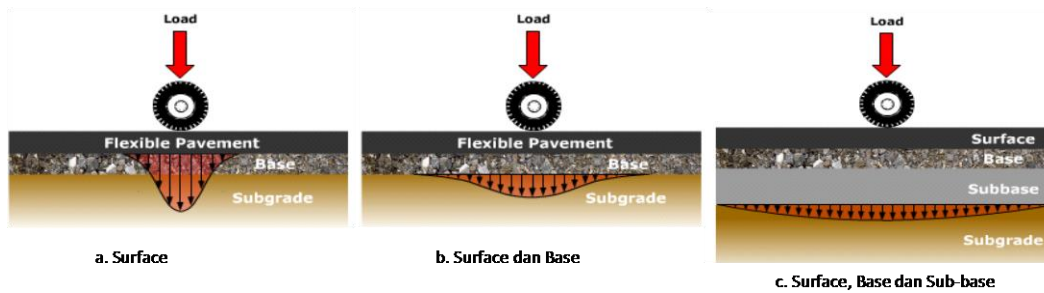


Gambar 2.5. Distribusi penyebaran beban roda pada perkerasan jalan, (Mochtar, 1990)



Gambar 2.6. Gaya-gaya yang bekerja pada perkerasan ketika menerima beban roda (Mochtar, 1990)



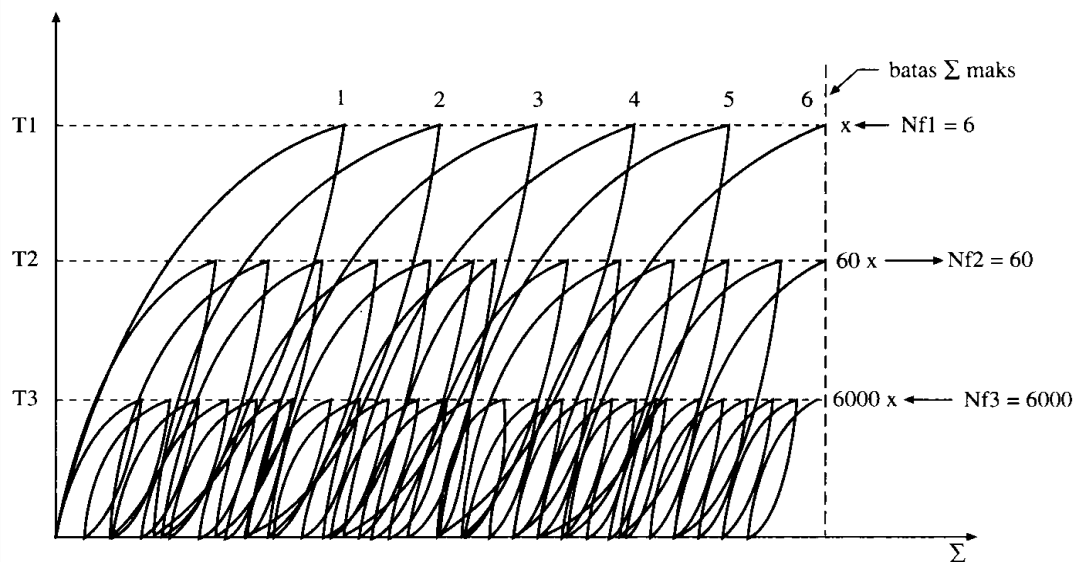


Gambar 2.7. Pengaruh tebal perkerasan terhadap pendistribusian beban roda ke tanah dasar

(Sumber : <http://training.ce.washington.edu>)

Pada Gambar 2.7 terlihat dengan jelas bahwa pada perkerasan dengan satu lapis, beban yang diterima tanah dasar sangat besar. Pada perkerasan dengan dua lapis, beban yang diterima tanah dasar semakin berkurang. Demikian juga pada perkerasan dengan tiga lapis, beban yang diterima semakin kecil. Jadi semakin tebal lapisan perkerasan, maka semakin kecil beban yang diterima oleh tanah dasar.

Ilustrasi di atas hanya menunjukkan distribusi beban roda kendaraan yang melewati perkerasan jalan. Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa perkerasan akan menerima beban kendaraan secara berulang-ulang secara terus menerus. Kondisi tersebut akan mempengaruhi kekuatan material perkerasan jalan. Kekuatan material tersebut ditunjukkan dengan besarnya tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan ketika menerima beban berulang. Pada masing-masing lapisan perkerasan jalan memiliki batas regangan maksimum sendiri-sendiri. Apabila batas regangan tersebut terlampaui, akan terlihat adanya suatu tingkat kerusakan tertentu yang nyata, pada umumnya berbentuk retak. Peristiwa terlampauinya batas regangan maksimum tersebut disebut sebagai peristiwa kelelahan dari material perkerasan atau sering disebut perkerasan mengalami *fatigue*. Jika beban terus menerus terjadi pada kondisi *fatigue*, maka perkerasan akan mengalami kerusakan karena sudah tidak mampu lagi menerima beban lalu lintas. Gambaran tentang hubungan tegangan-regangan pada perkerasan jalan ketika menerima beban berulang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Tegangan-regangan pada perkerasan saat menerima beban lalu lintas berulang (Mochtar, 1990)

Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa pada lapisan perkerasan tertentu menghasilkan tegangan yang lebih besar ( $T_1$ ) juga akan menghasilkan regangan yang lebih besar. Jadi untuk diperlukan repetisi beban yang jauh lebih sedikit untuk mencapai batas fatigue pada material perkerasan. Sebaliknya jika tegangan yang terjadi lebih kecil ( $T_3$ ) juga akan menghasilkan regangan yang kecil. Sehingga dibutuhkan repetisi beban yang banyak untuk mencapai batas fatigue material perkerasan jalan.

## 2.3. Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan

### 2.3.1. Pengujian Lendutan Dengan Alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

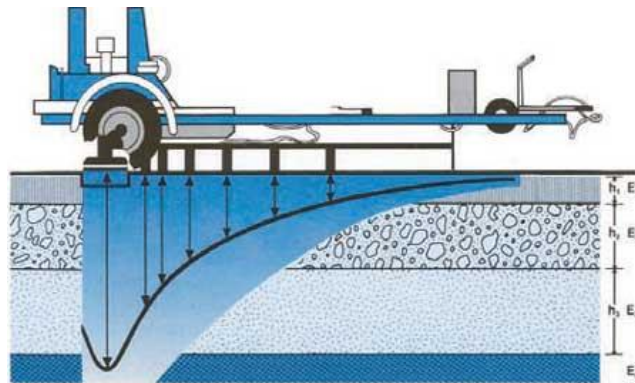
Alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD) adalah salah alat yang dapat digunakan untuk mengukur kinerja suatu perkerasan jalan baik perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*) maupun kaku (*rigid pavement*). Untuk saat ini, alat FWD masih menjadi primadona untuk pengujian lendutan perkerasan jalan lentur daripada alat Benkleman Beam (BB). Alasan utama adalah hasil pengujian lendutan perkerasan lentur dengan alat FWD telah memberikan hasil yang cukup memuaskan (AASHTO, 1993; Asphalt Institute, 1981; FHWA, 2003; Huang, 2004; Kosasih, 2003; Shell, 1978) dan dalam pelaksanaan pengujiaannya, alat ini bersifat

tidak merusak konstruksi perkerasan jalan. Ilustrasi alat FWD dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Alat *Dynatest Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Salah satu parameter yang diukur dengan alat FWD adalah lendutan perkerasan jalan. Untuk mendapatkan lendutan perkerasan jalan, pembebanan yang digunakan pada alat FWD adalah berupa beban impuls dari beban yang dijatuhkan dengan tinggi jatuh tertentu pada pelat alas berbentuk sirkular (bundar) yang diletakkan di atas permukaan perkerasan jalan yang akan diamati. Efek beban yang dijatuhkan tersebut ditangkap oleh alat sensor geophone (deplectometer) yang diletakkan dengan jarak tertentu. Bacaan alat tersebut akan membentuk suatu cekung lendutan (deflection bowl) seperti yang terlihat pada Gambar 2.10. Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas bahwa nilai lendutan terbesar terjadi tepat di bawah plat alas.



Gambar 2.10. Tipikal bentuk cekung lendutan (deflection bowl) hasil pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD



Pada umumnya, beban yang digunakan untuk menguji lendutan adalah mengekspresikan setengah dari beban as standar lalu lintas yaitu 4.08 ton (40 kN) dari 8.16 ton (Bina Marga, 2005 dan AASHTO, 1993). Hasil pengujian dengan beban tersebut pada umumnya akan didapatkan nilai tekanan sebesar 580 kPa. Dalam Dynatest FWD Manual Version 242 telah dijelaskan cara pengaturan atau seting pembebanan dan tinggi jatuh beban. Terdapat 4 seting tinggi jatuh beban dalam manual tersebut yaitu 50 mm (h1), 100 mm (h2), 200 mm (h3) dan 390 mm (h4). Sedangkan seting pemberat (P) yang tersedia adalah 50 kg, 150 kg, 250 kg dan 350 kg. Untuk mendapatkan target beban yang diinginkan, setting tinggi jatuh dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$h \text{ (mm)} = \left( P_{max} / k \right)^2$$
 ; besarnya perkiraan nilai Pmax dan k dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Approximately the value of Pmax and k for FWD only

Mass of Weight		k (approx.)			Load Range (approx.)		
kg	lbs	kpa/300	kN	lbf	kpa/300	kN	lbf
350	770	85	6	1350	565-1700	40-120	9000-27000
250	550	60	4.2	935	380-1200	27-85	6000-18500
150	330	35	2.5	550	225-700	16-50	3500-11000
50	110	14	1	220	100-270	7-20	1500-4400

Namun demikian, dalam manual tersebut menyebutkan bahwa cara tersebut hanya untuk petunjuk atau perkiraan saja karena besarnya beban yang didapat dari hasil seting tersebut juga tergantung pada tingkat kekakuan struktur perkerasan jalan. Disarankan, untuk mendapatkan nilai pembebanan seperti yang diharapkan perlu dilakukan uji coba (test lendutan) hasil setting pembebanan dan tinggi jatuh beban terhadap perkerasan jalan terlebih dahulu.

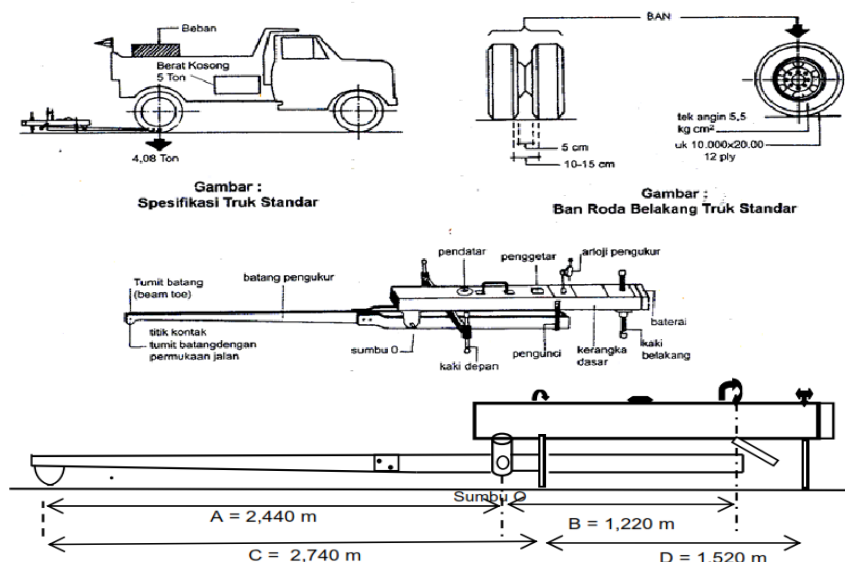
Alat FWD telah dilengkapi dengan 7 (tujuh) buah geophone yang berfungsi untuk merekam lendutan pada perkerasan jalan. Penempatan atau jarak antar geophone dapat diatur atau sesuai dengan kondisi dan tebal struktur perkerasan jalan di lapangan. Jarak antar geophone mempunyai korelasi dengan bentuk cekung lendutan dari suatu pengujian lendutan perkerasan jalan di lapangan (Gambar 2.10). Sebagai perkiraan untuk pengujian lendutan perkerasan jalan di Indonesia, jarak antar geophone yang disarankan (Danida, 1990) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Perkiraan jarak antar geophone yang disarankan

Tebal Total Lapisan perkerasan (mm)	Jarak Antar Geophone (mm)						
	1	2	3	4	5	6	7
< 500	0	200	300	450	600	900	1200
300 - 700	0	300	600	750	900	1200	1500
> 700	0	300	600	900	1500	1500	1800

### 2.3.2. Pengujian Lendutan Dengan Alat Benkleman Beam (BB)

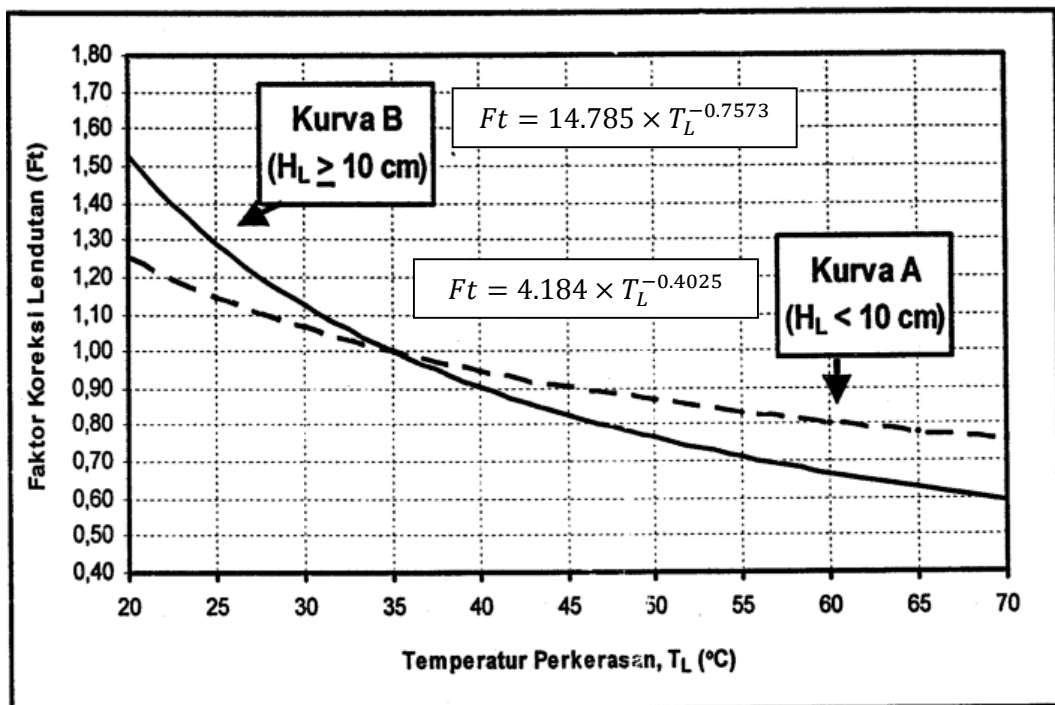
Pada penelitian ini, untuk mendapatkan nilai lendutan pada perkerasan lentur peralatan yang digunakan adalah Benkleman Beam (BB). Tata cara pengambilan data mengacu pada Cara Uji Lendutan Perkerasan Lentur Dengan Alat Benkelman Beam (SNI 2416:2011). Gambaran alat BB dan cara penempatan alat dapat dilihat pada Gambar 2.11. Sesuai dengan tata cara pengetesan, pengamatan lendutan perkerasan jalan dilakukan pada jarak 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 70 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, dan 600 cm dari titik as roda kendaraan. Nilai lendutan balik maksimum akan terjadi pada bacaan dengan jarak 600 cm.



Gambar 2.11. Peralatan BB yang digunakan untuk mendapatkan data lendutan  
(Sumber : Pd T-05-2005-B)

Selain kegiatan pengukuran lendutan, pengamatan lain yang diperlukan adalah pengamatan suhu permukaan perkerasan. Data suhu permukaan perkerasan

jalan dibutuhkan untuk mendapatkan faktor koreksi terhadap suhu permukaan perkerasan jalan. Dimana suhu standar pada pengukuran lendutan dengan alat BB adalah 35°C. Besarnya faktor koreksi lendutan terhadap temperatur perkerasan berdasarkan Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B) seperti yang disajikan pada Gambar 2.12.



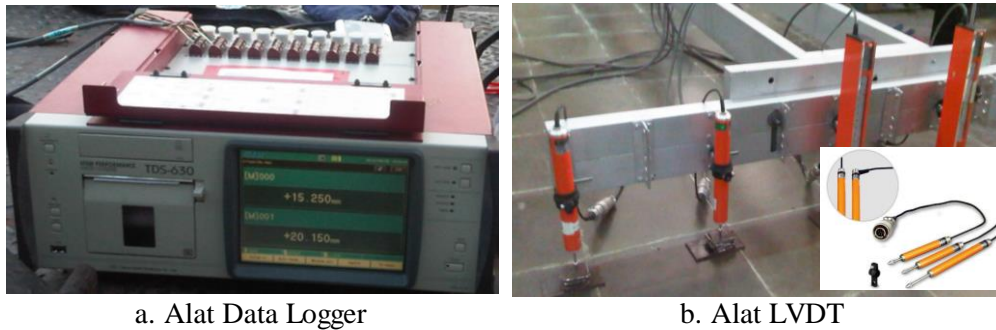
Keterangan :  $H_L$  adalah tebal lapisan perkerasan yang beraspal

Gambar 2.12. Faktor koreksi lendutan terhadap temperatur standar  
(Sumber : Pd T-05-2005-B)

### 2.3.3. Pengujian Lendutan Dengan Alat *Linier Variable Displacement Transducer* (LVDT)

Selain pengujian lendutan dengan alat FWD dan BB, pengujian lendutan perkerasan jalan juga dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Linier Linier Variable Displacement Transducer* (LVDT). Alat LVDT pada umumnya digunakan untuk mengukur displacement baik arah horisontal maupun vertikal pada suatu pengujian material di laboratorium maupun pengujian struktur bangunan di lapangan. Alat LVDT mempunyai tingkat ketelitian bacaan yang cukup bagus yaitu

1/100 mm. Namun demikian, dibutuhkan alat data logger untuk merekam bacaan dari alat LVDT. Ilustrasi alat LVDT dan data logger yang digunakan untuk pengujian lendutan perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Gambaran alat LVDT dan data logger yang digunakan untuk pengujian lendutan perkerasan jalan

Alat LVDT adalah hanya sebuah alat sensor yang diletakkan pada permukaan perkerasan jalan untuk mencatat displacement pada permukaan perkerasan jalan ketika menerima beban as kendaraan. Agar alat tersebut dapat diletakkan di permukaan perkerasan jalan, diperlukan sebuah konstruksi khusus sebagai pemegang alat LVDT. Dalam mendesain konstruksi pemegang alat khusus, prinsip kerja alat yang dijadikan sebagai acuan adalah prinsip kerja alat BB. Dimana prinsip kerja alat BB telah di jelaskan pada sub-bab di atas. Seperti halnya alat BB, maka bacaan lendutan yang didapat adalah bacaan lendutan-balik dari perkerasan jalan lentur. Ilustrasi struktur pemegang alat LVDT pada pengujian lendutan-balik perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 2.14.

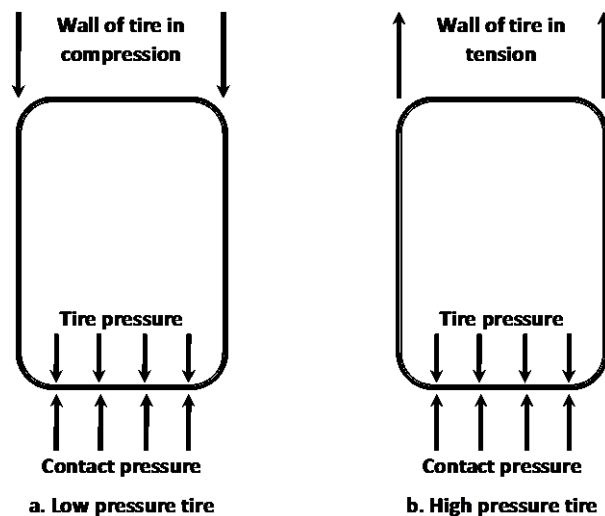


Gambar 2.14. Konstruksi pemegang alat LVDT

## 2.4. Bidang Kontak Ban Pada Pengerasan Jalan

Pada perencanaan perkerasan jalan dengan metode mekanis, bidang kontak antar ban dengan permukaan perkerasan sangat dibutuhkan. Sehingga distribusi beban roda yang diterima pada perkerasan jalan dapat diasumsikan sebagai beban merata. Jadi luas bidang kontak tergantung pada *contact pressure* (Huang, 2004).

Pada Gambar 2.15 menunjukkan hubungan antar *contact pressure* dan tekanan ban. Pada gambar tersebut dapat dijelaskan, pada tekanan roda rendah akan menghasilkan *contact pressure* lebih besar daripada *tire pressure*. Hal ini dikarenakan dinding ban mengalami gaya tekan sehingga *contact pressure* merupakan hasil penjumlahan gaya tekan vertikal yang disebabkan oleh tekanan pada dinding dan ban harus sama dengan gaya tekan akibat *contact pressure*. Sebaliknya pada tekanan ban tinggi akan menghasilkan *contact pressure* yang rendah daripada tekanan ban. Hal ini dikarenakan dinding ban akan mengalami gaya tarik. Namun demikian, pada perencanaan perkerasan jalan secara umum dapat diasumsikan *contact pressure* sama dengan *tire pressure*. Alasannya ban dengan tekanan yang tinggi mempunyai daya rusak terhadap perkerasan yang sangat tinggi. Sehingga, dari sisi keamanan perencanaan, penggunaan tekanan ban sebagai *contact pressure* dapat digunakan.



Gambar 2.15. Hubungan antara *contact pressure* dan *tire pressure* (Huang, 2004)

Pada Gambar 2.16 mengilustrasikan tentang perkiraan bentuk area bidang kontak untuk setiap ban yang merupakan gabungan antara bujur sangkar dan dua setengah lingkaran. Bila diasumsikan panjang bidang kontak  $L$  dan lebar  $0.6L$ , maka luas bidang kontak adalah :

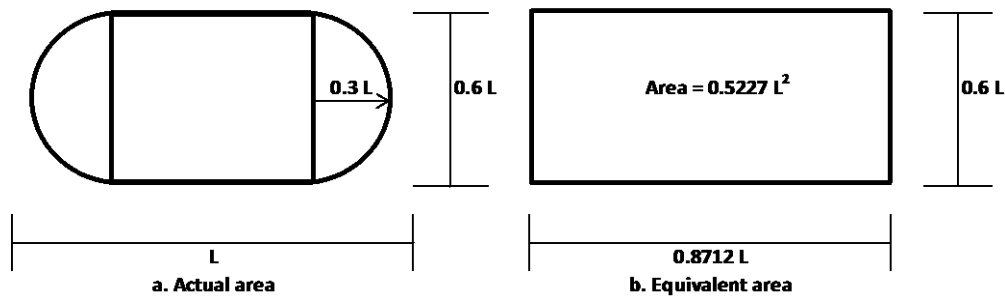
$$A_c = \pi (0.3 L)^2 + (0.4 L) (0.6 L) = 0.5227 L^2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

atau

$$L = \sqrt{\frac{A_c}{0.5227}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

$A_c$  : bidang kontak, bisa juga dihitung beban per ban dibagi dengan tekanan ban



Gambar 2.16. Ukuran bidang kontak ban (*Huang, 2004*)

Berdasarkan konsep perencanaan perkerasan jalan yang berdasar pada *layered theory*, asumsi bidang kontas di atas tidak bisa digunakan pada perencanaan perkerasan lentur. Bidang kontak untuk perkerasan lentur diasumsikan pada setian bidang kontak ban mempunyai bentuk lingkaran. Sehingga jari-jari bidang kontak dapat didekati dengan persamaan :

$$a = \sqrt{\frac{p}{q \cdot \pi}} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

$a$  : jari-jari bidang kontak

$p$  : beban pada setiap ban

$q$  : tekanan ban

## 2.5. Regangan dan Lendutan Pada Perkerasan Lentur

Ketika beban diletakkan pada suatu bidang lingkaran tunggal, pada umumnya regangan-tegangan kritis dan lendutan terjadi di titik pusat lingkaran pada sumbu simetri (Huang, 2004). Dengan asumsi bahwa pekerasan jalan lentur dianggap sama dengan plat yang lentur, beban roda kendaraan yang diterima perkerasan hampir sama dengan beban yang terjadi pada plat yang elastis dengan jari-jari  $a$  dan tekanan beban merata  $q$  (Huang, 2004), sehingga besarnya regangan vertikal dan lendutan yang terjadi akibat beban kendaraan yang diterima perkerasan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)q}{E} \left[ 1 - 2\mu + \frac{2\mu z}{(a^2+z^2)^{0,5}} - \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{1,5}} \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

On the surface of the half-space theory,  $z = 0$ , maka :

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)q}{E} [1 - 2\mu] \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

$q$  : tegangan normal pada permukaan perkerasan ( $\approx$  tekanan ban, psi)

$\varepsilon_z$  : regangan vertikal

$\mu$  : poisson ratio

$E$  : modulus elastisitas perkerasan (psi)

$a$  : jari-jari bidang kontak roda

$$: \sqrt{\frac{P}{q \pi}}$$

$p$  : beban pada roda (lb)

$z$  : kedalaman di bawah permukaan perkerasan yang ditinjau (in)

Mengacu pada pendekatan Boussinesq theory (1885) bahwa perkerasan diasumsikan sebagai lapisan yang homogen, mempunyai sifat yang isotropis, elastis, maka besarnya modulus elastisitas ( $E$ ) dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

$$d = \frac{(1+\mu)qa}{E} \left\{ \frac{a}{(a^2+z^2)^{0.5}} + \frac{1+2\mu}{a} [(a^2+z^2)^{0.5} - z] \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

On the surface of the half-space theory,  $z = 0$ , maka :

$$d = \frac{2(1+\mu^2)qa}{E} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$E = \frac{2(1+\mu^2)qa}{d} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

$d$  : lendutan maksimum (in)

$q$  : tegangan normal pada permukaan perkerasan ( $\approx$  tekanan ban, psi)

$\mu$  : poisson ratio

$E$  : modulus elastisitas perkerasan (psi)

$a$  : radius bidang kontak roda, in

$$: \sqrt{\frac{P}{q \pi}}$$

$p$  : beban pada roda (lb)

$z$  : kedalaman di bawah permukaan perkerasan yang ditinjau (in)

## 2.6. Deformasi Permanen Pada Perkerasan Jalan Lentur

Deformasi permanen adalah salah satu faktor penting dalam perencanaan perkerasan jalan lentur. Tingginya jumlah lalu lintas kendaraan berat dan tekanan ban yang digunakan sering kali menyebabkan terjadinya pada deformasi permanen pada struktur perkerasan lapisan atas daripada lapisan sub-grade (Huang, 2004). Deformasi permanen yang terjadi pada lapis permukaan pada perkerasan jalan lentur sering kali disebut dengan alur (*rutting*).

*Rutting* adalah penurunan perkerasan yang berbentuk alur memanjang. Lokasi penurunan perkerasan terjadi pada daerah lintasan roda (*wheel path*) yang membentuk alur arah memanjang jalan. Keladaman *rutting* tergantung pada tiga faktor yaitu ketebalan dan kualitas material konstruksi perkerasan, beban kendaraan dan kondisi lingkungan (Huang, 2004). Ketebalan dan kualitas material perkerasan adalah faktor yang paling dominan terhadap terjadinya *rutting*, kemudian disusul



akibat beban *overloaded*. Sedangkan faktor ketiga (kondisi lingkungan) yang dimaksud adalah suhu permukaan perkerasan.

Pada perkerasan lentur yang cukup tebal dengan beban *overloaded* dan tekanan ban yang tinggi, rutting sering terjadi pada lapisan perkerasan aspal daripada di lapisan subgrade. Sebaliknya, pada perkerasan yang kurang cukup tebal, rutting juga terjadi pada lapisan dibawah perkerasan aspal, seperti pada lapisan tanah dasar (*sub-grade*). Rutting yang terjadi sampai pada lapisan tanah dasar sering kali disebut dengan penurunan permanen (*permanent deformation*).

Huang (2004) menyebutkan, terdapat dua prosedur yang telah digunakan untuk membatasi rutting yaitu, 1) membatasi regangan vertikal pada permukaan subgrade, 2) membatasi total komulatif *permanent deformation* di permukaan perkerasan yang didasarkan pada parameter *permanent deformation* pada masing-masing lapis perkerasan. Dalam metode desain Asphalt Institute dan Shell, jumlah repetisi beban yang dapat digunakan untuk membatasi terjadi rutting pada perkerasan jalan lentur dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_{fs} = N_{fj} = f_4 (\epsilon_t)^{-f_5} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

$N_{fs}$  : banyaknya lintasan dengan beban gandar standar

$N_{fj}$  : banyaknya lintasan dengan beban gandar tertentu

$\epsilon_t$  : vertical compressive strain di atas tanah dasar

$f_4, f_5$  : kriteria regangan vertikal pada permukaan sub-grade (Tabel 2.4)

Tabel 2.4. Kriteria regangan vertikal pada permukaan sub-grade dari beberapa referensi

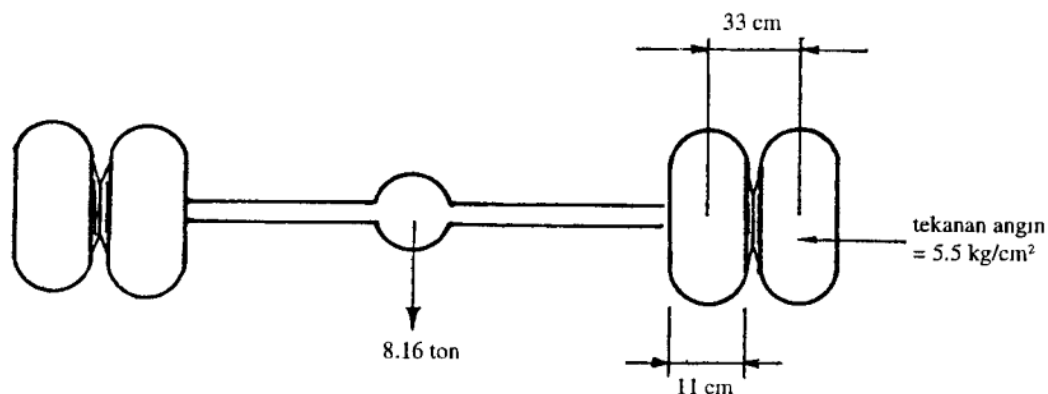
Referensi	f4	f5	Dalam Alur (in)
Asphalt Institue	1,365 x10 <sup>-9</sup>	4,477	0,5
Shell (revised 1985)			
50% reliability	6,15 x 10 <sup>-7</sup>	4,0	
85% reliability	1,94 x 10 <sup>-7</sup>	4,0	
95% reliability	1,05 x 10 <sup>-7</sup>	4,0	
UK Transport & Road Research Laboratory			
85% reliability	6,18 x 10 <sup>-8</sup>	3,95	0,4
Belgian Road Research Centre	3,05 x 10 <sup>-9</sup>	4,35	

Sumber : Huang, 2004

## 2.7. *Equivalent Axle Load (EAL)*

Pada perencanaan tebal konstruksi perkerasan jalan, beban kendaraan adalah salah satu faktor yang dominan dalam menentukan tebal perkerasan jalan. Beban kendaraan tersebut kemudian didistribusikan ke masing-masing as kendaraan selanjutnya disebut beban as kendaraan. Kemudian beban as tersebut di-equivalentkan terhadap beban as standar atau sering disebut dengan *Equivalent Axle Load*, *EAL*. Nilai *EAL* sering kali diidentikkan dengan nilai *Damage Faktor*, *DF* (faktor merusak) dari beban as tersebut.

*American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) telah menetapkan beban sumbu standar sebesar 18 kip (80kN atau 8,16 ton), tekanan ban 80 psi (5,5 kg/cm<sup>2</sup>) dan susunan roda seperti yang terlihat pada Gambar 2.17. Sehingga untuk semua jenis lalu lintas dengan berat tertentu harus dikonferikan atau di-equivalentkan ke beban tersebut. Beban standar tersebut kemudian disebut dengan istilah *EAL*. Nilai *EAL* merupakan faktor ekivalensi dari hasil konferensi satu lintasan beban gandar tertentu terhadap lintasan yang mempunyai nilai ekivalen dengan beban gandar tunggal 8,16 ton dengan ban double.



Gambar 2.17. Konfigurasi beban standar berdasarkan AASHTO

Berdasarkan acuan perencanaan yang ada (Bina Marga, 1989), nilai *EAL* adalah fungsi eksponensial pangkat empat. Dasar rumusan *EAL* yang digunakan adalah berdasarkan faktor kelelahan (*fatigue*) pada perkerasan jalan terhadap beban

as kendaraan yang berulang-ulang dari kendaraan yang melintas selama umur rencana perkerasan jalan. Bentuk rumusan EAL adalah:

$$\text{➤ As tunggal, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^4 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{➤ As tandem, } EAL = 0,086 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^4 \dots\dots\dots (2.11)$$

P = beban as tandem dalam ton

Febriantoro dan Mochtar (1994) berpendapat bahwa pada Persamaan (2.11) dan (2.12) dengan pangkat 4 masih terlalu kecil, sehingga persamaan tersebut (sebagai harga rata-rata) diusulkan menjadi:

$$\text{➤ As tunggal, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,352} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{➤ As tandem, } EAL = 0,086 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,352} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{➤ As Triple, } EAL = 0,0148 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,352} \dots\dots\dots (2.14)$$

P = beban as triple dalam ton

Pada studi korelasi EAL ditinjau dari dampak kerusakan jalan berdasarkan kondisi subgrade yang dilakukan oleh Irmawan dan Mochtar (1990) dengan cara numerik dan empiris, maka persamaan diusulkan menjadi:

$$\text{➤ As tunggal, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,51} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{➤ As tandem, } EAL = 0,0654 \left(\frac{P_{tandem}}{8,16}\right)^{4,51} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\text{➤ As Triple, } EAL = 0,01 \left(\frac{P_{triple}}{8,16}\right)^{4,51} \dots\dots\dots (2.17)$$

P = beban as triple dalam ton

Hasil penelitian muatan berlebih di lapangan untuk Bina Marga Jawa Timur, Mochtar (1999b) bahwa persamaan diusulkan menjadi:

$$\text{➤ As tunggal, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^{4,5} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{➤ As tandem, } EAL = 0,08 \left( \frac{P_{tandem}}{8,16} \right)^{4,5} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{➤ As Triple, } EAL = 0,016 \left( \frac{P_{triple}}{8,16} \right)^{4,5} \dots\dots\dots (2.20)$$

P = beban as triple dalam ton

Pihak lain, *Traffic and Road Research Laboratory*, TRRL di Inggris pada *Road Note 40* mengusulkan untuk beban as tunggal dengan persamaan:

$$\text{➤ As tunggal, } EAL = \left( \frac{P}{8,16} \right)^{4,55} \dots\dots\dots (2.21)$$

Pada acuan Perencanaan Tebal Lapis Tambahan Perkerasan Lentur dengan Metode Lendutan (Pd T-05-2005-B) Bina Marga dan Austoroads (1992), persamaan EAL yang digunakan adalah:

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left( \frac{P}{5,40} \right)^4 \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\text{➤ SADW, } EAL = \left( \frac{P}{8,16} \right)^4 \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = \left( \frac{P}{13,76} \right)^4 \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = \left( \frac{P}{18,45} \right)^4 \dots\dots\dots (2.25)$$

Evaluasi terhadap rumusan EAL juga telah dilakukan oleh Lubis dan Mochtar (2009). Beban as kendaraan dibedakan menjadi empat jenis yaitu *single axle single wheel* (SASW), *single axle dual wheel* (SADW), *tandem axle dual wheel* (TADW) dan *triple axle dual wheel* (TrADW). Hasil persamaan EAL adalah :

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left( \frac{P}{4,08} \right)^{4,61} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\text{➤ SADW, } EAL = \left( \frac{P}{8,16} \right)^{4,61} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = 0,266 \left( \frac{P}{8,16} \right)^{4,61} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = 0,028 \left( \frac{P}{8,16} \right)^{4,61} \dots\dots\dots (2.29)$$

Pada acuan Manual Desain Perkerasan (No. 02/M/BM/2013) Bina Marga, persamaan EAL yang digunakan adalah:

Untuk mendesain pelaburan tipis (Burda) dan struktur perkerasan tanpa penutup :

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left(\frac{P}{5,40}\right)^4 \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\text{➤ SADW, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^4 \dots\dots\dots (2.31)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = \left(\frac{P}{13,76}\right)^4 \dots\dots\dots (2.32)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = \left(\frac{P}{18,45}\right)^4 \dots\dots\dots (2.33)$$

Untuk mendesain struktur perkerasan lentur :

$$\text{➤ SASW, } EAL = \left(\frac{P}{5,40}\right)^5 \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\text{➤ SADW, } EAL = \left(\frac{P}{8,16}\right)^5 \dots\dots\dots (2.35)$$

$$\text{➤ DADW, } EAL = \left(\frac{P}{13,76}\right)^5 \dots\dots\dots (2.36)$$

$$\text{➤ TrADW, } EAL = \left(\frac{P}{18,45}\right)^5 \dots\dots\dots (2.37)$$

Pendapat lain tentang penggunaan EAL yang mengacu pada AASHTO terhadap perencanaan tebal perkerasan jalan lentur dikemukakan oleh Huang (2004). Dia menyebutkan bahwa asumsi perhitungan EAL yang mengacu pada AASHTO yang digunakan untuk menghitung tebal lapisan perkerasan kurang sesuai untuk beban lalu lintas yang cenderung *overloded* dan mempunyai tekanan ban yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan perhitungan EAL didasarkan pada teori retak lelah (*fatigue cracking*) yang terjadi pada perkerasan jalan. *Fatigue cracking* yang terjadi dipengaruhi oleh regangan tarik horisontal ( $\epsilon_h$ ) pada bagian bawah lapisan surface. Sehingga, pada perencanaan tebal perkerasan dengan beban kendaraan yang *overloaded*, seperti yang terjadi di Indonesia, dasar perhitungan EAL akan lebih sesuai dengan memperhatikan *permanent deformation*. *Permanent deformation* yang terjadi dipengaruhi oleh regangan tekan vertikal ( $\epsilon_v$ ) pada permukaan *subgrade* atau berdasarkan kedalaman *rutting* yang terjadi pada surface.

Seperti yang telah disebutkan di atas, bahwa nilai EAL sering kali diidentikkan dengan nilai *Damage Faktor, DF* (faktor merusak) dari beban as

kendaraan. Faktor merusak didefinisikan sebagai banyaknya lintasan yang dapat dilakukan oleh beban gandar standar 8,16 ton hingga menimbulkan efek kerusakan yang sama bila suatu beban gandar tertentu melintas satu kali pada perkerasan yang sama (AASHTO, 1972). Nilai faktor merusak sering kali diidentikan dengan nilai *Equivalent Axle Load, EAL*. Besarnya faktor merusak pada perkerasan lentur dapat dicari berdasarkan besarnya regangan dan lendutan tepat di bawah ban dengan tekanan tertentu seperti yang telah dijelaskan pada Sub-bab 2.5.

Berdasarkan data-data lendutan balik, besarnya nilai Equivalent Axle Load (EAL) atau Damage Faktor, DF dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$EAL = DF = \frac{N_{fs}}{N_{fj}} \dots\dots\dots (2.38)$$

dimana :

$N_{fs}$  : banyaknya lintasan dengan beban gandar standar

$N_{fj}$  : banyaknya lintasan dengan beban gandar tertentu

Selanjutnya dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara besarnya nilai EAL dengan  $P/8,16$ , dimana P adalah beban rencana mulai dari yang as standar sampai dengan beban as berlebih. Dari hubungan tersebut akan didapat suatu persamaan regresi yang menghasilkan suatu persamaan EAL yang baru.

## 2.8. Analisa Regresi

Secara umum, analisa regresi merupakan teknik atau alat statistik untuk memberikan gambaran tentang bentuk hubungan (model) antara dua variabel atau lebih. Dalam analisa regresi dikenal dengan dua jenis variabel yaitu pertama, variabel tak bebas (*dependent variable*) yang dipengaruhi oleh variabel lainnya, biasanya diberi notasi Y, kedua, variabel bebas (*independent variable*) yang tidak terpengaruh oleh variabel lainnya, biasanya diberi notasi X. Bentuk umum hubungan antara variabel X dan Y dinyatakan dalam bentuk persamaan :

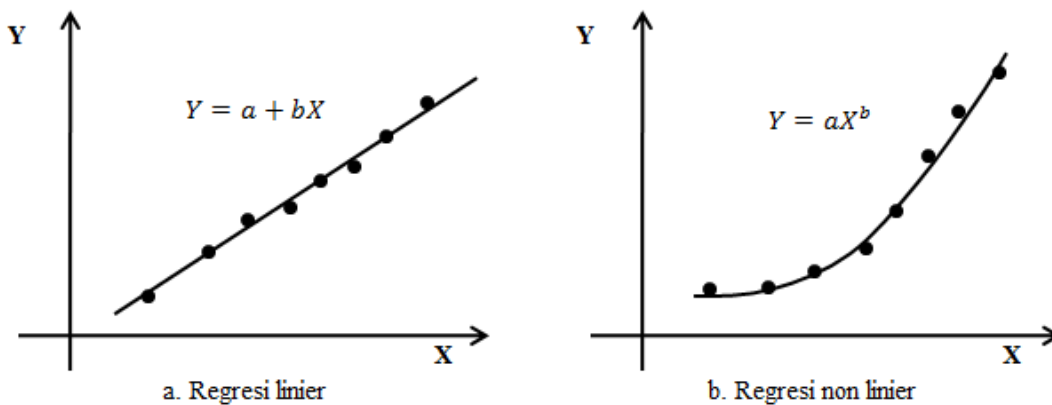
$$Y = f(X) + \varepsilon \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana :

$f(X)$  : bentuk persamaan regresi

$\varepsilon$  : nilai error pada persamaan regresi

Dalam bidang statistik, bentuk hubungan atau model persamaan regresi ( $f(X)$ ) dibedakan menjadi 2 yaitu regresi linier dan regresi non linier. Hasil regresi dikatakan linier apabila hubungan antara variabel bebas dan variabel tak bebas mempunyai bentuk mendekati garis lurus. Sedangkan regresi non linier apabila hasil regresi tidak menunjukkan pola mendekati garis lurus. Contoh sederhana bentuk regresi dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Contoh bentuk hasil analisa regresi

Bentuk regresi linier terdiri dari bentuk regresi linier sederhana dan regresi linier berganda. Bentuk regresi linier sederhana adalah hubungan antara satu variabel bebas (X) dengan variabel tak bebas (Y). Sedangkan bentuk regresi linier berganda adalah hubungan antara dua atau lebih variabel bebas (X) dengan variabel tak bebas (Y). Model persamaan kedua regresi linier tersebut adalah :

➤ Regresi linier sederhana  $\rightarrow Y = a + bX$  ..... (2.40)

➤ Regresi linier berganda  $\rightarrow Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \dots \dots + b_nX_n$  ..... (2.41)

dimana :

Y : variabel tak bebas

X : variabel bebas

a, b : koefisien regresi.

Bentuk regresi non linier pada umumnya disajikan dalam model regresi parabolik(kuadratik), kubik, polinomial, ekponensial, pangkat (power), logaritmik dan model lainnya. Model persamaan regresi non linier tersebut adalah :

- Model regresi parabolik  $\rightarrow Y = a + bX + cX^2$  . (2.42)
- Model regresi kubik  $\rightarrow Y = a + bX + cX^2 + dX^3$  . (2.43)
- Model regresi polinomial  $\rightarrow Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + \dots$  . (2.44)
- Model regresi eksponensial  $\rightarrow Y = a e^{bX}$  . (2.45)
- Model regresi pangkat  $\rightarrow Y = a X^b$  . (2.46)
- Model regresi logaritmik  $\rightarrow Y = a + b \ln(X)$  . (2.47)

dimana :

Y : variabel tak bebas

X : variabel bebas

a, b : koefisien regresi.

Untuk mengukur kecocokan suatu model regresi atau seberapa dekat data asli dengan data hasil model (garis regresi), salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengukurnya adalah dengan melihat nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) atau uji  $R^2$ . Jika nilai koefisien determinasi sama dengan 1 ( $R^2 = 1$ ), maka nilai tersebut menunjukkan garis regresi (hasil model) cocok dengan data asli secara sempurna. Sebaliknya, jika nilai koefisien determinasi sama dengan 0 ( $R^2 = 0$ ), maka nilai tersebut menunjukkan adanya ketidak-cocokan antara garis regresi (hasil model) cocok dengan data asli. Dapat dikatakan, semakin besar nilai  $R^2$  (mendekati angka 1), maka semakin bagus atau semakin mendekati kecocokkan antara data hasil model dengan data asli. Dan sebaliknya, semakin kecil nilai  $R^2$  (mendekati angka 0), maka semakin tidak ada kecocokkan antara data hasil model dengan data asli. Bentuk persamaan untuk menghitung koefisien determinasi  $R^2$  adalah :

$$R^2 = \frac{\{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)\}^2}{\{n\sum(X)^2 - (\sum X)^2\} \{n\sum(Y)^2 - (\sum Y)^2\}} \dots\dots\dots (2.48)$$

Dimana :

Y : variabel tak bebas

X : variabel bebas



## 2.9. Kerangka Kerja Konseptual (*Conceptual Frame Work*)

Dalam suatu proses analisis tentu akan didapat banyak data untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dalam suatu penelitian. Diperlukan suatu informasi yang jelas terhadap data-data yang didapat. Hal tersebut diperlukan untuk mengetahui hubungan antara data yang didapat dengan proses analisis dalam suatu penelitian. Untuk mengetahui hubungan antar data dalam proses analisis pada suatu penelitian perlu dibuatkan sebuah diagram alur dari suatu kerangka kerja dalam proses penelitian, atau sering disebut dengan kerangka kerja konseptual (*Conceptual Frame Work*). Pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

### 1. Pengumpulan dan Analisa Data

Pada tahap ini, data utama yang dibutuhkan adalah nilai lendutan perkerasan jalan. Untuk mendapatkan data tersebut adalah dengan melakukan pengujian lendutan perkerasan jalan di lapangan. Jenis peralatan yang digunakan untuk kegiatan tersebut adalah *Falling Weight Deflectometer* (FWD), *Benkelman Beam* (BB) dan *Linier Variable Displacement Transducer* (LVDT). Selain data lendutan perkerasan jalan, data lain yang perlu dicatat adalah jenis as (SADW atau TADW), beban as (p), tekanan ban (q), suhu dan cuaca/musim saat pengujian lendutan perkerasan dilakukan. Data-data tersebut selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan data-data final, antara lain data lendutan (d), beban as (p), dan tekanan ban (q) untuk setiap jenis as (SADW dan TADW) dan alat yang digunakan (FWD, BB dan LVDT).

### 2. Analisis Penentuan Bentuk Persamaan EAL

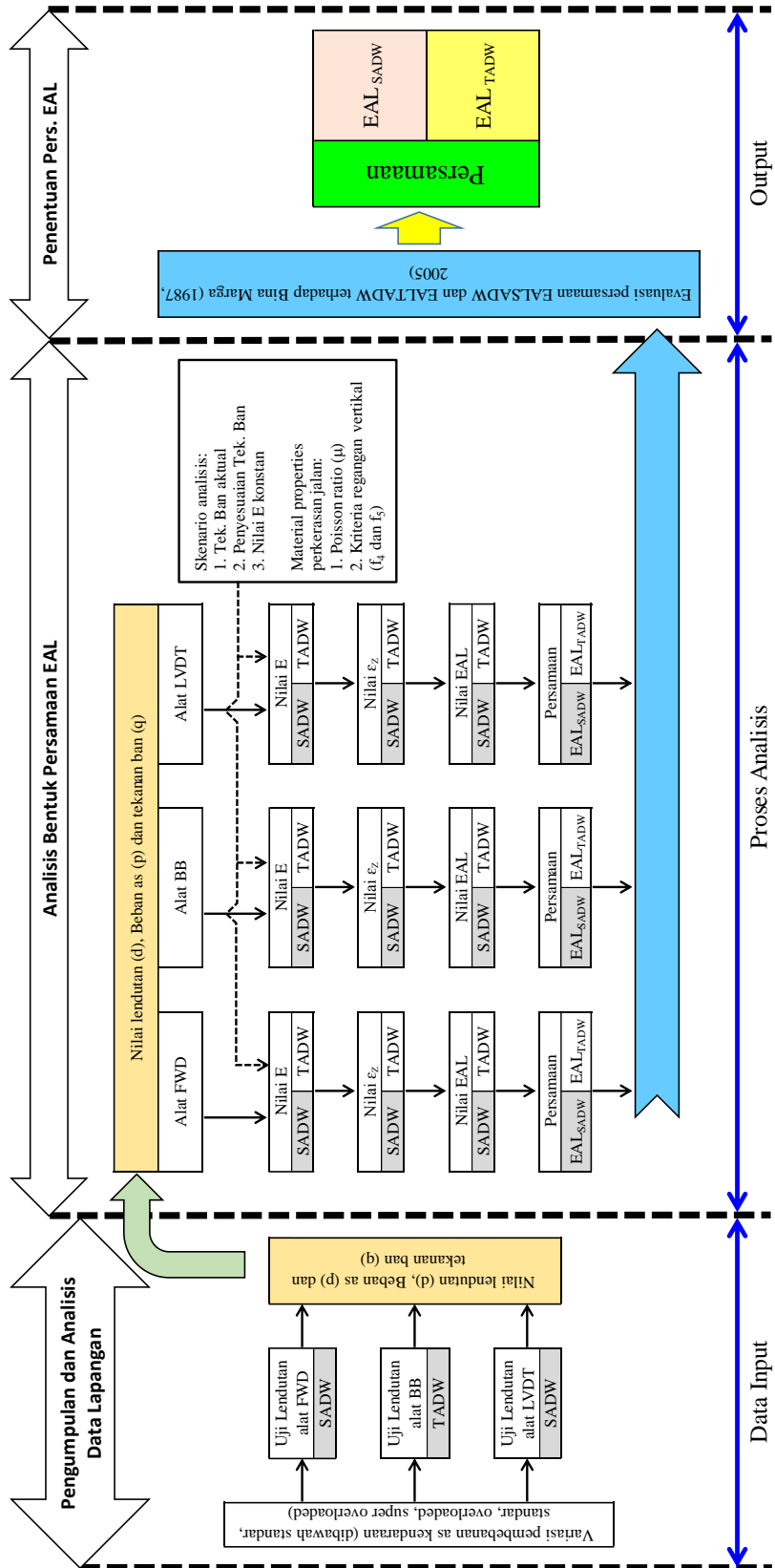
Setelah data-data final didapat, tahap berikutnya adalah melakukan analisis untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL. Untuk mendapat persamaan EAL, terdapat empat skenario yang telah direncanakan, yaitu tekanan ban aktual, penyesuaian tekanan ban, nilai E konstan dan beban standar as TADW 8.16 ton. Selaian skenario analisis, data lain yang dibutuhkan adalah material propertis dari struktur perkerasan jalan. Berdasarkan data-data tersebut, kegiatan selanjutnya (sesuai dengan urutan perhitungan) adalah menghitung nilai modulus elastisitas (E), regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) dan equivalent axle load (EAL). Hasil perhitungan yang didapat adalah untuk setiap jenis as (SADW dan TADW) dan berdasarkan jenis alat yang digunakan (FWD, BB dan LVDT).

Nilai EAL yang didapat selanjutnya digunakan untuk mencari bentuk persamaan EAL. Hasil persamaan EAL yang didapat adalah untuk setiap jenis as (SADW dan TADW) dan alat yang digunakan (FWD, BB dan LVDT).

### 3. Penentuan Bentuk Persamaan EAL

Hasil persamaan EAL di atas selanjutnya dievaluasi dan dibandingkan dengan persamaan EAL Bina Marga (1987, 2005). Persamaan EAL yang dipilih adalah persamaan EAL yang lebih besar daripada persamaan EAL Bina Marga (1987, 2005) baik untuk jenis as SADW maupun TADW.

Lebih detil tentang *Conceptual Frame Work* dalam proses analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. *Conceptual Framework* dalam proses analisis

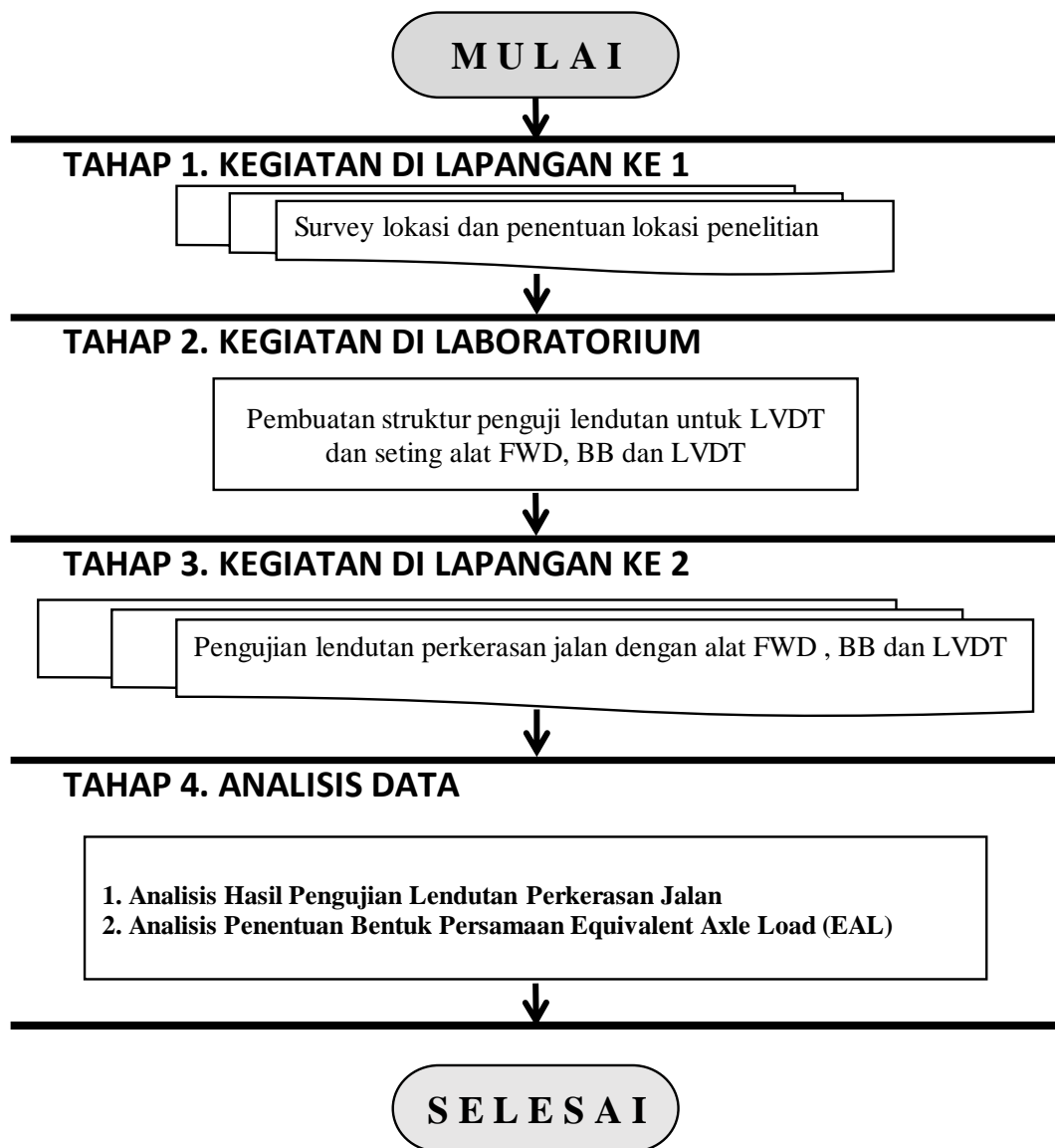
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Rancangan Penelitian

Secara umum penelitian dampak beban berlebih (overloaded) kendaraan berat terhadap bentuk persamaan Equivalent Axle Load (EAL) berdasarkan teori deformasi permanen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Bagan alir rancangan penelitian

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.1 bahwa pada penelitian ini akan dibagi dalam 4 tahap kegiatan, yaitu:

1. Tahap 1, pada tahap ini kegiatan yang akan dilakukan adalah menentukan lokasi ruas jalan diteliti, melihat dan mencari informasi tipikal struktur perkerasan jalan lentur yang akan diteliti, pengamatan karakteristik kendaraan berat dan penggalian informasi terhadap alat-alat utama dan pendukung yang akan digunakan untuk penelitian.
2. Tahap 2, kegiatan yang dilakukan di laboratorium adalah membuat struktur pemegang alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT) untuk pengujian lendutan-balik perkerasan jalan lentur, melakukan uji coba kesiapan alat Falling Weight Deflectometer (FWD), Benkelman Beam (BB) dan LVDT, dan menentukan variasi pembebanan untuk pengujian lendutan perkerasan jalan lentur di lapangan.
3. Tahap 3, kegiatan yang dilakukan di lapangan adalah melakukan pengujian lendutan perkerasan jalan lentur dengan alat FWD, BB dan LVD dengan berbagai variasi pembebanan.
4. Tahap 4, kegiatan yang dilakukan pada tahap analisis adalah menganalisis terhadap nilai lendutan hasil pengujian di lapangan berdasarkan perjenis alat yang digunakan. Hasil tersebut merupakan data input untuk menghitung nilai modulus elastisitas ( $E$ ), regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) dan nilai equivalen axle load (EAL). Skenario yang digunakan untuk menghitung  $E$ ,  $E_z$  dan EAL adalah perhitungan berdasarkan tekanan ban ( $q$ ) aktual di lapangan, tekanan ban ( $q$ ) yang disesuaikan dengan beban as yang diangkut, dan nilai  $E$  konstan untuk semua variasi pembebanan. Berdasarkan perhitungan nilai EAL, selanjutnya akan dicari bentuk persamaan EAL untuk setiap alat. Persamaan EAL yang terbentuk selanjutnya dibandingkan dengan bentuk persamaan yang ada dalam pedoman Bina Marga (1987, 2005). Bentuk persamaan EAL yang terpilih adalah persamaan yang menghasilkan nilai EAL yang lebih besar daripada Bina Marga (1987, 2005) untuk as Single Axle Dual Wheel (SADW) dan Tandem Axle Dual Wheel (TADW).

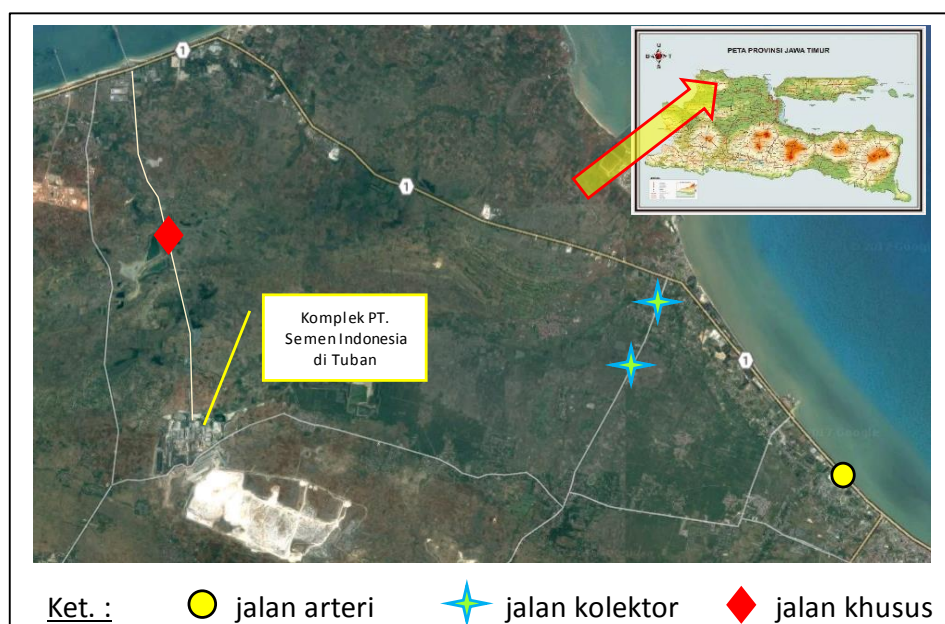
### 3.2. Survey Lokasi Penelitian

#### 3.2.1. Survey Ruas dan Struktur Perkerasan Jalan

Pada tahap ini, kegiatan yang dilakukan adalah menentukan ruas jalan yang akan dijadikan obyek penelitian. Ruas jalan yang akan dijadikan obyek penelitian mempunyai kriteria sebagai berikut :

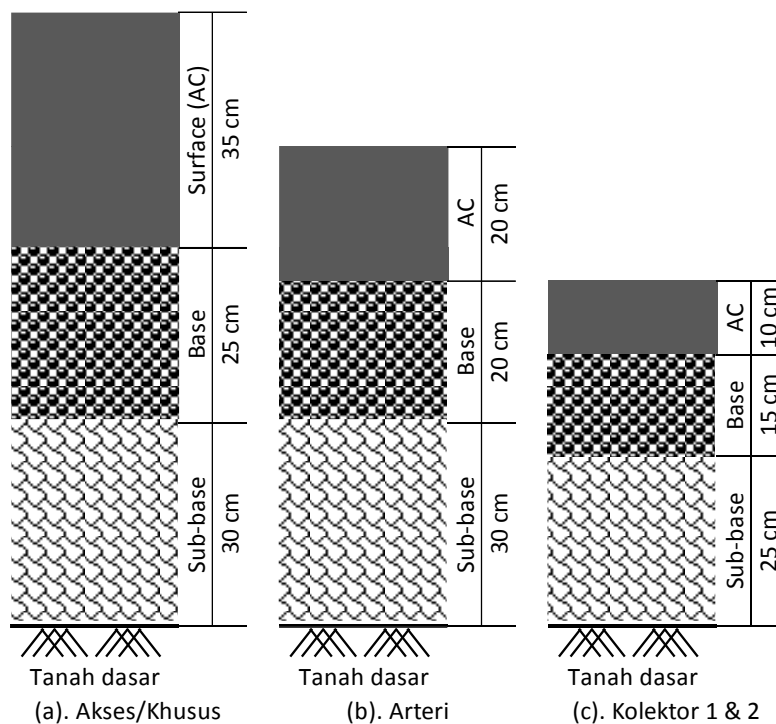
1. Mempunyai jenis konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*)
2. Mempunyai fungsi jalan arteri, kolektor dan khusus
3. Sedekat mungkin dengan lokasi jembatan timbang
4. Dilewati kendaraan berat (truk) dengan beban yang overloaded
5. Material konstruksi perkerasan mempunyai tipikal yang hampir sama

Berdasarkan kriteria di atas, lokasi yang akan diteliti adalah jalan arteri ruas Tuban – Tambakboyo, jalan kolektor (Lingkar Barat Tuban) dan jalan khusus (jalan askes pabrik Semen Indonesia). Selain kriteria di atas, kriteria lain yang tidak kalah penting adalah tidak ada pekerjaan lapis ulang (*overlay*) pada ruas jalan yang dipilih selama masa penelitian dilakukan. Berdasarkan kriteria tersebut, detil lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Lokasi penelitian

Setelah lokasi ditentukan, langkah berikutnya adalah melakukan test pit ada lokasi jalan yang dipilih. Tujuan dilakukan test pit adalah untuk mengetahui tebal lapisan struktur perkerasan jalan. Berdasarkan hasil test pit, menunjukan bahwa pada lokasi jalan Khusus / Akses ke kawasan pabrik semen mempunyai ketebalan struktur perkerasan yang paling tebal daripada jalan Arteri dan Kolektor. Ilustrasi tebal lapisan struktur perkerasan jalan untuk masing-masing lokasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Tebal lapisan perkerasan jalan pada lokasi jalan yang diteliti

### 3.2.2. Survey Karakteristik Kendaraan Truk Berat

Selain pengamatan terhadap kondisi struktur perkerasan jalan, pengamatan lain yang dilakukan adalah pengamatan terhadap karakteristik kendaraan berat (truk berat) di sekitar lokasi penelitian. Karakteristik kendaraan berat yang diamati adalah berat kendaraan total (kendaraan dan barang), berat as kendaraan perjenis kendaraan dan tekanan ban yang digunakan. Untuk mendapatkan berat kendaraan total dan beban as kendaraan adalah dengan cara menimbang kendaraan di jimatan



timbang yang ada di sekitar lokasi penelitian. Skematik cara penimbangan beban kendaraan seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Tata cara penimbangan beban kendaraan total dan beban as kendaraan.

Gambar 3.4 di atas menjelaskan tentang proses penimbangan kendaraan di jembatan timbang. Beban kendaraan yang ditimbang terdiri dari beban total kendaraan dan beban per as kendaraan. Pada gambar tersebut disajikan tahapan penimbangan kendaraan. Tahap pertama yang dilakukan adalah penimbangan untuk as depan, kedua dilakukan penimbangan beban total kendaraan, dan terakhir dilakukan penimbangan untuk as belakang. Dengan demikian, semua data beban kendaraan (beban as dan total) dapat diketahui. Data-data tersebut akan menentukan seberapa besar variasi beban as kendaraan yang akan digunakan pada saat pengujian lendutan perkerasan jalan di lapangan. Detil hasil penimbangan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 3.1 – 3.3.

Tabel 3.1. Distribusi berat beban dan as kendaraan untuk jenis T 1.2 (SADW)

No.	Distribusi Beban Kendaraan (ton)			Distribusi Beban As (%)		
	As Depan	As Belakang	Berat Total	As Depan	As Belakang	Total
1	5.56	16.92	22.48	24.73%	75.27%	100.00%
2	4.38	14.98	19.36	22.62%	77.38%	100.00%
3	4.94	17.20	22.14	22.31%	77.69%	100.00%
4	5.88	15.84	21.72	27.07%	72.93%	100.00%
5	6.04	15.58	21.62	27.94%	72.06%	100.00%
6	5.44	15.94	21.38	25.44%	74.56%	100.00%
7	6.24	15.54	21.78	28.65%	71.35%	100.00%
8	6.10	16.68	22.78	26.78%	73.22%	100.00%
9	4.44	17.76	22.20	20.00%	80.00%	100.00%
10	6.08	15.88	21.96	27.69%	72.31%	100.00%
11	5.60	17.40	23.00	24.35%	75.65%	100.00%
12	7.00	18.28	25.28	27.69%	72.31%	100.00%
<b>Rata2</b>	<b>5.64</b>	<b>16.50</b>	<b>22.14</b>	<b>25.44%</b>	<b>74.56%</b>	<b>100.00%</b>

Tabel 3.2. Distribusi berat beban dan as kendaraan untuk jenis T 1.22 (TADW)

No.	Distribusi Beban Kend. (ton)			Distribusi Beban As (%)			No.	Distribusi Beban Kend. (ton)			Distribusi Beban As (%)		
	As Depan	As Belakang	Total	As Depan	As Belakang	Total		As Depan	As Belakang	Total	As Depan	As Belakang	Total
1	6.28	36.48	42.76	14.69%	85.31%	100.00%	41	6.04	34.42	40.46	14.93%	85.07%	100.00%
2	7.60	32.34	39.94	19.03%	80.97%	100.00%	42	7.04	37.48	44.52	15.81%	84.19%	100.00%
3	7.18	32.36	39.54	18.16%	81.84%	100.00%	43	8.02	33.72	41.74	19.21%	80.79%	100.00%
4	6.64	26.34	32.98	20.13%	79.87%	100.00%	44	6.44	27.62	34.06	18.91%	81.09%	100.00%
5	7.14	32.76	39.90	17.89%	82.11%	100.00%	45	6.72	34.86	41.58	16.16%	83.84%	100.00%
6	7.72	25.28	33.00	23.39%	76.61%	100.00%	46	6.90	35.12	42.02	16.42%	83.58%	100.00%
7	8.90	27.56	36.46	24.41%	75.59%	100.00%	47	6.02	34.72	40.74	14.78%	85.22%	100.00%
8	9.28	29.78	39.06	23.76%	76.24%	100.00%	48	6.34	35.28	41.62	15.23%	84.77%	100.00%
9	6.40	35.26	41.66	15.36%	84.64%	100.00%	49	7.02	34.10	41.12	17.07%	82.93%	100.00%
10	8.90	30.70	39.60	22.47%	77.53%	100.00%	50	6.28	32.50	38.78	16.19%	83.81%	100.00%
11	7.52	30.20	37.72	19.94%	80.06%	100.00%	51	6.30	32.24	38.54	16.35%	83.65%	100.00%
12	7.68	32.72	40.40	19.01%	80.99%	100.00%	52	6.04	31.48	37.52	16.10%	83.90%	100.00%
13	7.62	34.20	41.82	18.22%	81.78%	100.00%	53	6.42	34.40	40.82	15.73%	84.27%	100.00%
14	6.42	35.26	41.68	15.40%	84.60%	100.00%	54	6.48	35.30	41.78	15.51%	84.49%	100.00%
15	7.48	30.96	38.44	19.46%	80.54%	100.00%	55	7.40	39.68	47.08	15.72%	84.28%	100.00%
16	8.62	33.20	41.82	20.61%	79.39%	100.00%	56	7.04	34.34	41.38	17.01%	82.99%	100.00%
17	8.66	32.22	40.88	21.18%	78.82%	100.00%	57	6.48	26.40	32.88	19.71%	80.29%	100.00%
18	6.06	32.52	38.58	15.71%	84.29%	100.00%	58	6.78	29.96	36.74	18.45%	81.55%	100.00%
19	6.92	32.48	39.40	17.56%	82.44%	100.00%	59	6.36	35.26	41.62	15.28%	84.72%	100.00%
20	5.32	27.62	32.94	16.15%	83.85%	100.00%	60	7.54	32.70	40.24	18.74%	81.26%	100.00%
21	8.52	35.56	44.08	19.33%	80.67%	100.00%	61	7.76	36.30	44.06	17.61%	82.39%	100.00%
22	6.90	34.70	41.60	16.59%	83.41%	100.00%	62	7.38	33.76	41.14	17.94%	82.06%	100.00%
23	5.92	27.42	33.34	17.76%	82.24%	100.00%	63	8.54	32.40	40.94	20.86%	79.14%	100.00%
24	6.40	34.56	40.96	15.63%	84.38%	100.00%	64	8.92	33.08	42.00	21.24%	78.76%	100.00%
25	6.60	27.12	33.72	19.57%	80.43%	100.00%	65	7.96	32.12	40.08	19.86%	80.14%	100.00%
26	6.60	34.46	41.06	16.07%	83.93%	100.00%	66	5.84	32.04	37.88	15.42%	84.58%	100.00%
27	7.04	34.34	41.38	17.01%	82.99%	100.00%	67	5.86	32.58	38.44	15.24%	84.76%	100.00%
28	8.48	33.34	41.82	20.28%	79.72%	100.00%	68	6.38	32.10	38.48	16.58%	83.42%	100.00%
29	7.23	34.83	42.06	17.19%	82.81%	100.00%	69	7.40	40.04	47.44	15.60%	84.40%	100.00%
30	7.44	31.12	38.56	19.29%	80.71%	100.00%	70	6.28	32.64	38.92	16.14%	83.86%	100.00%
31	7.90	31.82	39.72	19.89%	80.11%	100.00%	71	8.12	33.02	41.14	19.74%	80.26%	100.00%
32	7.52	32.78	40.30	18.66%	81.34%	100.00%	72	7.76	31.98	39.74	19.53%	80.47%	100.00%
33	6.76	31.06	37.82	17.87%	82.13%	100.00%	73	7.68	33.48	41.16	18.66%	81.34%	100.00%
34	5.84	35.76	41.60	14.04%	85.96%	100.00%	74	4.88	35.74	40.62	12.01%	87.99%	100.00%
35	6.02	28.44	34.46	17.47%	82.53%	100.00%	75	4.92	33.32	38.24	12.87%	87.13%	100.00%
36	7.28	34.44	41.72	17.45%	82.55%	100.00%	76	7.84	30.68	38.52	20.35%	79.65%	100.00%
37	7.22	30.62	37.84	19.08%	80.92%	100.00%	77	6.36	35.22	41.58	15.30%	84.70%	100.00%
38	8.46	29.62	38.08	22.22%	77.78%	100.00%	78	8.70	32.44	41.14	21.15%	78.85%	100.00%
39	8.46	30.86	39.32	21.52%	78.48%	100.00%	79	7.54	32.68	40.22	18.75%	81.25%	100.00%
40	6.24	35.34	41.58	15.01%	84.99%	100.00%	80	8.82	32.82	41.64	21.18%	78.82%	100.00%
							<b>Rata2</b>	<b>7.12</b>	<b>32.73</b>	<b>39.85</b>	<b>17.92%</b>	<b>82.08%</b>	<b>100.00%</b>

Tabel 3.3. Distribusi berat beban dan as kendaraan untuk jenis T 1.2 – 222 dan T 1.22 – 222 (TrADW)

No.	Distribusi Beban Kendaraan (ton)				Distribusi Beban As (%)			
	As Depan	As Tengah	As Belakang	Total	As Depan	As Tengah	As Belakang	Total
1	6.14	23.44	32.50	62.08	9.89%	37.76%	52.35%	100.00%
2	7.30	27.06	44.88	79.24	9.21%	34.15%	56.64%	100.00%
3	5.64	23.16	34.80	63.60	8.87%	36.42%	54.72%	100.00%
4	7.46	26.76	45.60	79.82	9.35%	33.53%	57.13%	100.00%
5	6.18	21.88	36.64	64.70	9.55%	33.82%	56.63%	100.00%
6	6.40	29.28	42.24	77.92	8.21%	37.58%	54.21%	100.00%
7	5.34	22.22	35.36	62.92	8.49%	35.31%	56.20%	100.00%
8	5.12	28.24	44.22	77.58	6.60%	36.40%	57.00%	100.00%
9	5.87	29.43	41.72	77.02	7.62%	38.21%	54.17%	100.00%
10	5.12	25.24	46.48	76.84	6.66%	32.85%	60.49%	100.00%
11	5.04	26.74	42.64	74.42	6.77%	35.93%	57.30%	100.00%
12	5.28	30.12	41.48	76.88	6.87%	39.18%	53.95%	100.00%
13	3.82	19.60	47.48	70.90	5.39%	27.64%	66.97%	100.00%
14	7.08	17.20	44.02	68.30	10.37%	25.18%	64.45%	100.00%
15	7.38	19.54	43.04	69.96	10.55%	27.93%	61.52%	100.00%
16	4.96	27.28	36.70	68.94	7.19%	39.57%	53.23%	100.00%
17	4.62	28.66	38.40	71.68	6.45%	39.98%	53.57%	100.00%
18	7.38	18.90	43.04	69.32	10.65%	27.26%	62.09%	100.00%
19	6.97	12.03	44.52	63.52	10.97%	18.94%	70.09%	100.00%
20	4.98	25.84	37.24	68.06	7.32%	37.97%	54.72%	100.00%
<b>Rata2</b>	<b>5.90</b>	<b>24.13</b>	<b>41.15</b>	<b>71.19</b>	<b>8.35%</b>	<b>33.78%</b>	<b>57.87%</b>	<b>100.00%</b>

Berdasarkan hasil penimbangan beban as kendaraan seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 – 3.3, langkah selanjutnya adalah menentukan variasi beban yang akan digunakan untuk pembebanan saat pengujian lendutan perkerasan jalan di lapangan. Pada tabel tersebut terlihat bahwa beban as maksimum yang ada di lapangan untuk as SADW adalah 18.28 ton, TADW adalah 40.04 ton, dan TrADW adalah 47.48 ton. Atas dasar data tersebut, maka variasi beban as kendaraan untuk pengujian lendutan di lapangan adalah beban dibawah beban standar, beban standar, beban overloaded dan super-overloaded. Detil variasi beban yang akan digunakan untuk uji lendutan perkerasan jalan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Variasi beban as kendaraan untuk uji lendutan perkerasan jalan

No.	Jenis Truk	Konfigurasi As	Beban As (ton)			
1	1.2 H	SADW	6	8.16	12	16
2	1.22	TADW	11	13.76	22	30
3	1.2-222	TrADW	15	18.46	35	45

Saat pengamatan beban kendaraan dilakukan, kegiatan lain yang dilakukan adalah mengukur tekanan ban. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh beban kendaraan terhadap tekanan ban yang digunakan. Kegiatan pengamatan tekanan ban kendaraan berat dapat dilihat pada Gambar 3.5, sedangkan hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3.5 – 3.7.



Gambar 3.5. Kegiatan pengamatan tekanan ban di lapangan

Tabel 3.5. Hasil pengukuran tekanan ban untuk jenis as SADW (T 1.2)

No.	Jenis Truk	Berat Kendaraan (ton)			Tekanan Ban Kendaraan (psi)	
		Kend.	Barang	Total	Depan	Belakang
1	1.2+2.2	6.40	15.00	21.40	130.00	140.00
2	1.2+2.2	6.20	15.00	21.20	130.00	150.00
3	1.2+2.2	6.40	15.00	21.40	130.00	150.00
Rata-rata		6.33	15.00	21.33	130.00	146.67

Tabel 3.6. Hasil pengukuran tekanan ban untuk jenis as TADW (T 1.22)

No.	Jenis Truk	Berat (ton)			Tekanan basn (psi)		
		Kend.	Barang	Total	Depan	Belakang	
1	1.22	10.00	32.00	42.00	150.00	180.00	180.00
2	1.22	10.00	32.00	42.00	130.00	185.00	160.00
3	1.22	10.00	32.00	42.00	130.00	170.00	170.00
4	1.22	10.00	32.00	42.00	140.00	170.00	180.00
5	1.22	10.00	25.00	35.00	130.00	170.00	170.00
6	1.22	10.00	25.00	35.00	140.00	185.00	180.00
7	1.22	13.00	29.00	42.00	140.00	170.00	170.00
<b>Rata-rata</b>		<b>10.43</b>	<b>29.57</b>	<b>40.00</b>	<b>137.14</b>	<b>174.29</b>	

Tabel 3.7. Hasil pengukuran tekanan ban untuk jenis as TrADW (T 1.2 – 222 dan T 1.22-222)

No.	Jenis Truk	Berat (ton)			Tekanan ban (psi)					
		Kend.	Barang	Total	Depan	Tengah		Belakang		
1	1.2-222	13.00	55.00	68.00	130.00	175.00		170.00	180.00	160.00
2	1.2-222	13.00	55.00	68.00	130.00	175.00		180.00	180.00	160.00
3	1.22-222	18.00	60.00	78.00	140.00	185.00	180.00	180.00	180.00	180.00
4	1.22-222	17.00	60.00	77.00	130.00	175.00	185.00	180.00	170.00	175.00
5	1.22-222	17.00	37.30	54.30	130.00	160.00	170.00	160.00	170.00	185.00
<b>Rata-rata</b>		<b>15.60</b>	<b>53.46</b>	<b>69.06</b>	<b>132.00</b>	<b>175.63</b>		<b>174.00</b>		

### 3.3. Seting Alat Penguji Lendutan Perkerasan Jalan

Jenis alat yang digunakan untuk mendapatkan nilai lendutan perkerasan jalan lentur adalah :

1. Alat Falling Weight Deflectometer (FWD)
2. Alat Bengkleman Beam (BB)
3. Alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT)

#### 3.3.1. Alat Falling Weight Deflectometer (FWD)

Telah dijelaskan pada Bab 2 bahwa secara umum prinsip kerja alat FWD adalah struktur perkerasan jalan diberi beban tumbukan (impuls) melalui pelat dengan diameter tertentu yang efeknya telah direncanakan mempresentasikan

beban kendaraan rencana. Pada umumnya untuk beban standar as SADW dengan beban 8.16 ton. Saat beban dijatuhkan perkerasan akan mengalami getaran, getaran tersebut akan direkam oleh alat *geophone* yang telah dipasang dengan jarak tertentu di atas perkerasan jalan. Output dari hasil rekaman tersebut adalah stress (kpa), force (kN) dan deflection (mm) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Pada pengujian lendutan perkerasan jalan variasi beban yang akan digunakan seperti yang terlihat pada Tabel 3.4. Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa beban yang digunakan oleh alat FWD pada umumnya mempresentasikan beban standar as SDAW. Untuk mendapatkan variasi beban yang telah ditentukan, cara yang dilakukan adalah melakukan seting beban dan tinggi jatuh beban pada alat FWD. Meskipun dalam manual FWD sudah dijelaskan bagaimana cara untuk mendapatkan target beban yang diinginkan dan mengingat bahwa lendutan perkerasan jalan juga tergantung pada tingkat kekakuan struktur perkerasan jalan (modulus elastisitas, E), maka untuk mendapatkan beban yang diinginkan perlu dilakukan uji coba tes lendutan terhadap alat FWD yang telah seting beban dan tinggi jatuhnya. Kegiatan seting alat FWD untuk mendapatkan variasi beban yang diinginkan seperti yang terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Kegiatan uji coba terhadap seting alat FWD untuk mendapatkan variasi beban yang diinginkan

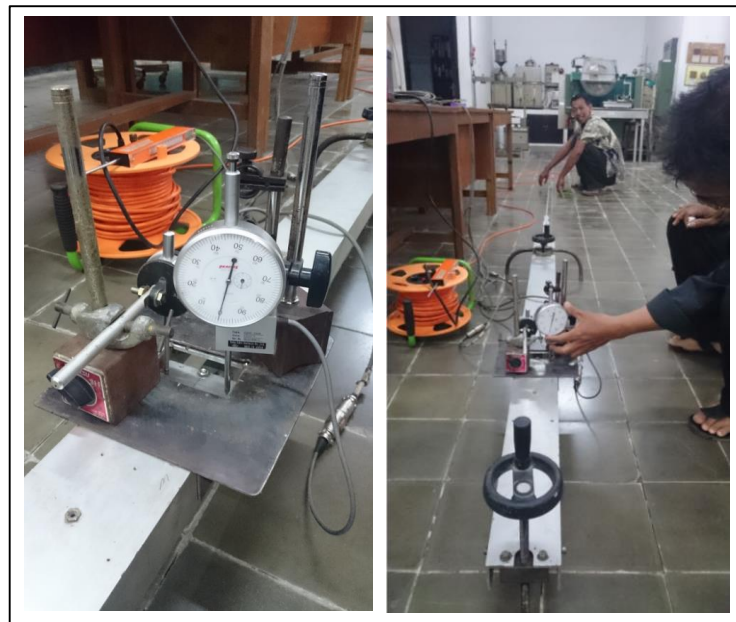
### 3.3.2. Alat Bengkleman Beam (BB)

Alat BB merupakan alat yang populer sejak tahun 1983 sampai saat ini di Bina Marga. Alat tersebut digunakan untuk menguji lendutan pada perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*) ketika jalan tersebut menerima beban kendaraan. Metode pengetesan cukup sederhana dan tidak bersifat merusak struktur perkerasan jalan



yang ada. Tata cara pengujian lendutan-balik telah diatur dalam SNI-2416-2011 yang diterbitkan oleh Bina Marga.

Sebelum melakukan pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat BB, persiapan yang dilakukan adalah melakukan pemeriksaan terhadap kelaikan alat BB. Kegiatan pengecekan meliputi kelaikan manometer dan alat BB. Kegiatan pengecekan alat seperti yang terlihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Pemeriksaan kelaikan alat BB di Laboratorium

### 3.3.3. Alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT)

Alat LVDT adalah hanya sebuah alat sensor yang diletakkan pada permukaan perkerasan jalan untuk mencatat penurunan (displacement) pada permukaan perkerasan jalan ketika menerima beban as kendaraan. Agar alat tersebut dapat diletakkan di permukaan perkerasan jalan, diperlukan sebuah konstruksi khusus sebagai pemegang alat LVDT. Dalam mendesain konstruksi pemegang alat khusus, prinsip kerja alat yang dijadikan sebagai acuan adalah prinsip kerja alat BB. Konstruksi pemegang alat LVDT didesain sedemikian rupa supaya lendutan yang terjadi tidak saling mempengaruhi alat LVDT lainnya. Alat LVDT diletakkan di samping (sisi luar) roda as belakang dengan jarak  $\pm 20$  cm dari

sisi roda terluar. Jumlah alat LVDT yang digunakan adalah 4 buah dengan jarak antar LVDT sebesar  $\pm 20$  cm. Ilustrasi desain konstruksi pemegang alat LVDT tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Desain konstruksi pemegang alat LVDT

Setelah pembuatan konstruksi pemegang LVDT selesai, langkah berikutnya adalah uji coba alat LVDT di lapangan dengan beban yang sesungguhnya. Berbeda dengan cara uji lendutan dengan BB, penempatan alat LVDT tidak ditempatkan di tengah antar roda belakang tetapi alat LVDT diletakkan di samping roda belakang. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui bentuk lendutan akibat beban kendaraan. Kegiatan uji coba alat LVDT di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.9.





Gambar 3.9. Uji coba alat LVDT untuk pengujian lendutan perkerasan jalan

Berndasarkan hasil uji coba alat di lapangan, beberapa hal yang perlu diperhatikan ketika melakukan pengujian lendutan di lapangan adalah :

1. Kecepatan angin yang tinggi disekitar lokasi pengujian sangat berpengaruh pada struktur alat penguji
2. Lalu lalang lalu lintas berat dan kecepatan tinggi di sekitar lokasi pengujian sangat berpengaruh terhadap hasil bacaan lendutan. Dengan kata lain, saat pengujian lendutan perkerasan jalan, jalan tersebut harus ditutup sementara (saat pengujian berlangsung) untuk kedua arah.
3. Pelaksanaan pengujian lendutan perkerasan jalan dengan berbagai variasi beban dan jenis as sebaiknya dilakukan dengan jeda waktu yang tidak terlalu lama atau dengan waktu dan kondisi yang sama. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan kondisi perkerasan jalan yang seragam (kondisi struktur perkerasan basah dan kering).

### **3.4. Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan di Lapangan**

#### **3.4.1. Alat Falling Weight Deflectometer (FWD)**

Seprti yang dijelaskan di sub-bab sebelumnya tentang penggunaan alat FWD untuk pengujian lendutan perkerasan jalan lentur, bahwa untuk mendapatkan nilai lendutan perkerasan jalan, konstruksi perkerasan jalan diberi beban tumbukan (impuls) melalui pelat dengan diameter 300 mm (perkerasan jalan aspal). Saat beban dijatuhkan pada perkerasan jalan, perkerasan jalan akan mengalami suatu getaran. Getaran tersebut akan direkam oleh alat *geofone* yang telah dipasang dengan jarak tertentu di atas perkerasan jalan. Pada penelitian ini, untuk total tebal perkerasan 700 – 1000 mm, penempatan geofone pada jarak 0, 300, 600, 750, 900, 1200 dan 1500 (mm), (Danida,1990).

Pada pengujian lendutan perkerasan jalan, variasi beban yang digunakan mulai dibawah beban standar, standar, overloaded dan sangat overloaded (lihat Tabel 3.4). Pengujian dilakukan sebanyak minimum 5 kali dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kekonsistenan data lendutan yang didapat. Pengujian lendutan perkerasan jalan akan dilakukan pada saat musim penghujan. Dimana pada kondisi musim penghujan kekuatan strukur perkerasan jalan akan dipengaruhi oleh kondisi kadar air pada lapisan pondasi di bawah lapisan permukaan aspal (surface). Pada umumnya, semakin besar kadar air pada lapisan pondasi di bawah lapisan permukaan aspal (surface) semakin rendah kadar daya dukungnya untuk menerima beban kendaraan. Selain mengukur lendutan, pengamatan lain yang dilakukan pada saat pengujian lendutan adalah pengamatan terhadap suhu permukaan aspal. Data suhu permukaan aspal akan digunakan untuk mencari nilai koreksi akibat suhu permukaan aspal terhadap nilai lendutan perkerasan jalan yang didapat. Kegiatan pengujian lendutan perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Kegiatan pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD

### 3.4.2. Alat Bengkleman Beam (BB)

Berdasarkan tata cara pengujian lendutan dengan alat BB (SNI-2416-2011), data lendutan yang dapat adalah merupakan data lendutan-balik perkerasan jalan. Pada penelitian ini, nilai yang dicari adalah nilai lendutan-balik maksimum pada perkerasan jalan lentur akibat beban as kendaraan. Nilai lendutan-balik maksimum adalah nilai lendutan-balik pada kedudukan di titik kontak batang alat BB dengan permukaan perkerasan jalan setelah beban as kendaraan meninggalkan titik awal (nol) sejauh 6 meter.

Pada umumnya beban yang digunakan adalah beban yang mempresentasikan untuk jenis kendaraan dengan as SADW dengan beban standar. Pada penelitian ini, penggunaan alat BB bertujuan untuk mendapatkan nilai lendutan perkerasan jalan lentur akibat beban kendaraan dengan as TADW. Hal tersebut dilakukan mengingat alat FWD tidak bisa digunakan untuk mengukur nilai lendutan perkerasan jalan akibat beban as TADW secara langsung.

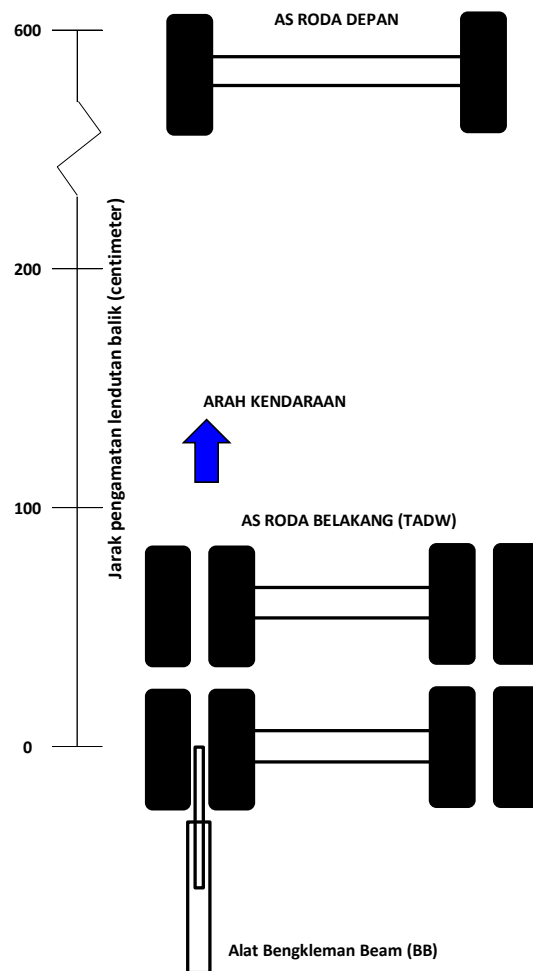
Pada pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat BB, variasi beban yang digunakan mulai dibawah beban standar, standar, overloaded dan sangat overloaded (lihat Tabel 3.4). Pengujian dilakukan sebanyak minimum 5 kali dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kekonsistenan data lendutan yang didapat.

Pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat BB juga akan dilakukan pada saat musim penghujan. Skema penempatan alat BB pada as belakang saat pengujian di lapangan untuk kendaraan jenis as TADW dapat dilihat pada Gambar 3.11. Sedangkan kegiatan pelaksanaan kegiatan pengukuran lendutan-balik dengan alat BB di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.12.

#### **3.4.3. Alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT)**

Seperti yang telah diterangkan pada bab sebelumnya, bahwa alat ini didesain untuk dapat mengukur penurunan secara linier. Dalam penelitian ini, alat tersebut akan digunakan untuk merekam data lendutan-balik pada perkerasan jalan. Metode atau cara untuk mendapatkan nilai lendutan-balik dengan menggunakan alat LVDT dapat dilihat pada Gambar 3.13. Cara untuk mendapatkan data lendutan-balik balik mengacu pada cara kerja alat BB, dimana nilai lendutan-balik yang didapat adalah nilai lendutan-balik pada bacaan 6 meter dari titik awal (lihat Gambar 3.13).

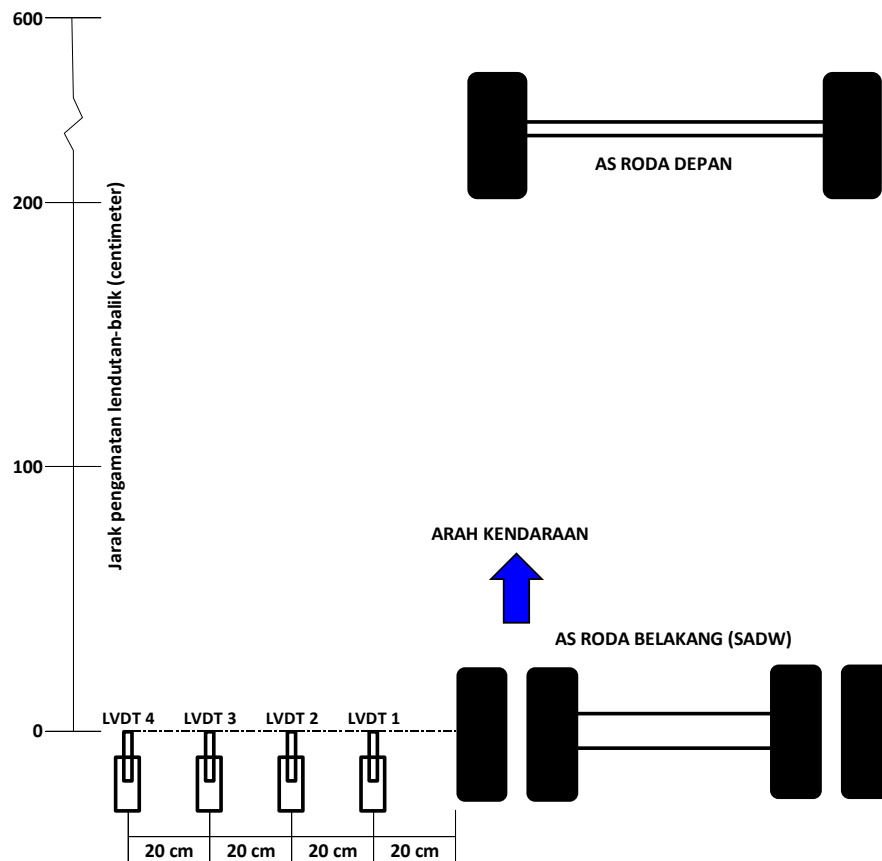
Pada pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat LBDT, variasi beban yang digunakan mulai dibawah beban standar, standar, overloaded dan sangat overloaded (lihat Tabel 3.4). Jenis as yang digunakan untuk pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat LVDT adalah jenis as SADW. Pengujian dilakukan sebanyak minimum 5 kali dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kekonsistenan data lendutan yang didapat. Pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat LVDT juga akan dilakukan pada saat musim penghujan. Skema penempatan alat LVDT saat pengujian di lapangan untuk kendaraan jenis as SADW dapat dilihat pada Gambar 3.13. Sedangkan kegiatan pelaksanaan kegiatan pengukuran lendutan-balik dengan alat BB di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.14.



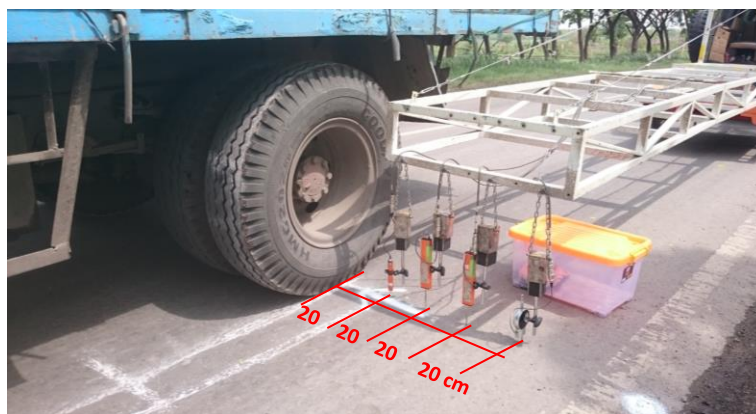
Gambar 3.11. Skema penempatan alat BB untuk uji lendutan-balik pada perkerasan jalan lentur dengan as TADW



Gambar 3.12. Pelaksanaan uji lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat BB



Gambar 3.13. Skema pengujian lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat LVDT untuk kendaraan dengan as SADW



Gambar 3.14. Pengujian lendutan-balik dengan alat LVDT

### **3.5. Analisis Data**

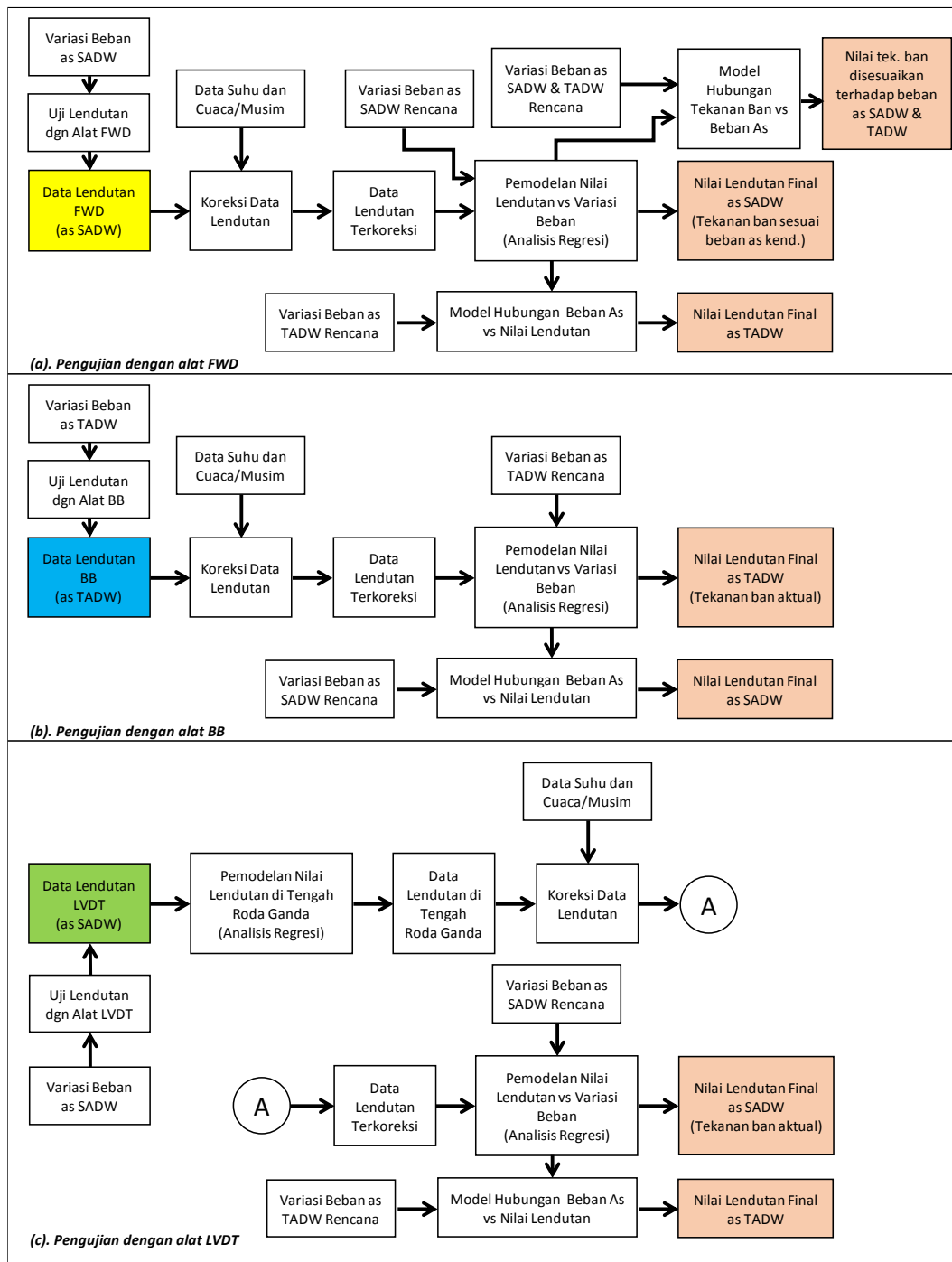
Berdasarkan data-data yang didapat dari pengujian di lapangan, tahapan berikutnya adalah melakukan analisis untuk mendapatkan persamaan EAL yang didasarkan pada teori deformasi permanen. Detil runtutan tahapan analisis data akan diuraikan di bawah ini.

#### **3.5.1. Analisis Hasil Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan**

Pada bagian ini akan dilakukan analisis terhadap data-data hasil pengujian lendutan perkerasan jalan lentur. Analisis data lendutan akan dilakukan berdasarkan jenis alat yang digunakan saat pengujian lendutan perkerasan jalan di lapangan. Detil alur kerja analisis terhadap data hasil pengujian lendutan di lapangan mulai dari input data lendutan sampai dengan hasil nilai lendutan final dapat dilihat pada Gambar 3.15.

Pada Gambar 3.15 (a), terlihat bahwa data lendutan hasil pengujian di lapangan terlebih dahulu harus dikoreksi terhadap suhu permukaan aspal dan cuaca/musim pada saat pengujian lendutan dilaksanakan. Hasil tersebut, data lendutan terkoreksi dan data beban as saat pengujian lendutan, selanjutnya digunakan untuk mencari model matematis hubungan antara beban as kendaraan vs data lendutan terkoreksi. Cara yang digunakan untuk mendapatkan model tersebut adalah dengan menggunakan analisis regresi. Hasil model matematis tersebut selanjutnya digunakan untuk mencari nilai lendutan perkerasan jalan berdasarkan variasi beban as rencana. Hasil tersebut selanjutnya disebut dengan nilai lendutan perkerasan final untuk as SADW.

Selain data lendutan, data lain yang didapat dari pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD adalah data stress yang terjadi pada perkerasan jalan yang mempresentasikan nilai tekanan ban yang digunakan. Berdasarkan data lendutan terkoreksi dan nilai tekanan ban, selanjutnya dilakukan analisis regresi untuk mendapatkan model matematis hubungan antara nilai tekanan ban vs beban as kendaraan. Hasil model matematis tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung besarnya nilai tekanan ban berdasarkan variasi beban as yang direncanakan.



Gambar 3.15. Diagram alir analisis data lendutan hasil pengujian di lapangan

Pada pengujian lendutan dengan alat BB pada Gambar 3.15 (b), secara prinsip hampir sama dengan analisis data lendutan menggunakan alat FWD. Perbedaan hanya terletak pada penggunaan nilai tekanan ban dan as kendaraan, dalam hal ini untuk as TADW. Nilai tekanan yang digunakan adalah nilai tekanan



ban aktual yang sering digunakan oleh pengemudi truk ketika mengangkut barang. Berdasarkan hasil survey lapangan menunjukkan besarnya nilai tekanan tergantung pada beban maksimum yang diangkut. Hasil akhir yang didapat adalah nilai lendutan perkerasan jalan final untuk as TADW berdasarkan tekanan ban aktual.

Berikutnya adalah analisis terhadap data lendutan yang didapat dengan menggunakan data LVDT (lihat Gambar 3.15 (c)). Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya bahwa lendutan yang didapat dari pengujian di lapangan adalah data lendutan di samping roda (lihat Gambar 3.13 dan 3.14). Untuk mendapatkan data lendutan di tengah roda ganda, dibutuhkan suatu model matematis yang menunjukkan hubungan antara nilai lendutan vs jarak antar LVDT terhadap titik tengah roda ganda. Cara yang digunakan untuk mendapatkan model tersebut adalah dengan menggunakan analisis regresi. Hasil dari model tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai lendutan tepat di tengah jarak antar roda. Setelah didapat nilai lendutan tersebut, langkah selanjutnya sama dengan mencari nilai lendutan perkerasan jalan final dengan alat BB. Hasil akhir yang didapat adalah nilai lendutan perkerasan jalan final untuk as SADW berdasarkan tekanan ban aktual.

### **3.5.2. Analisis Penentuan Bentuk Persamaan Equivalent Axle Load (EAL)**

Setelah data lendutan perkerasan jalan final diketahui, langkah berikutnya adalah melakukan analisis penentuan bentuk persamaan EAL. Dalam analisis tersebut, 4 skenario yang akan diterapkan yaitu :

1. Penentuan persamaan EAL berdasarkan tekanan ban ( $q$ ) aktual
2. Penentuan persamaan EAL berdasarkan penyesuaian tekanan ban ( $q$ ) terhadap beban as kendaraan
3. Penentuan persamaan EAL berdasarkan nilai  $E$  konstan (karena dianggap untuk titik pada perkerasan dan jalan sama)

Dalam analisis penentuan bentuk persamaan EAL, data-data yang dibutuhkan antara lain data lendutan ( $d$ ), variasi beban as kendaraan ( $p$ ), tekanan ban ( $q$ ), untuk semua jenis alat yaitu FWD, BB dan LVDT, dan poisson ratio ( $\mu$ ) untuk material perkerasan jalan. Data-data tersebut selanjutnya digunakan untuk

menghitung nilai modulus elastisitas ( $E$ ), regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) dan equivalent axle load (EAL). Detil alur kerja analisis penentuan bentuk persamaan EAL untuk berbagai skenario dapat dilihat pada Gambar 3.16 dan 3.17.

Gambar 3.16 memberikan gambaran alur kerja analisis penentuan bentuk persamaan EAL berdasarkan tekanan ban aktual dan penyesuaian tekanan ban terhadap beban as kendaraan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL akan dicari berdasarkan jenis alat yang digunakan untuk mendapatkan data lendutan perkerasan jalan di lapangan.

Pada alat FWD, data lendutan perkerasan jalan yang didapat adalah untuk jenis as SADW dengan nilai tekanan ban sesuai dengan besarnya beban as kendaraan saat pengujian. Data lendutan as TADW didapat dengan cara memasukkan variasi beban as TADW kedalam model matematis hasil analisis regresi terhadap beban as SADW vs nilai lendutan. Data-data tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai  $E$ ,  $\epsilon_z$  dan EAL. Tahap berikutnya adalah mencari bentuk persamaan EAL. Pendekatan teori yang digunakan untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL adalah dengan menggunakan metode Sum Square Error (SSE). Pendekatan metode SSE merupakan selisih antara data yang diperoleh dengan model perkiraan yang telah dilakukan sebelumnya dengan data hasil coba-coba. Bentuk persamaan EAL yang didapat selanjutnya dibanding terhadap persamaan EAL berdasarkan Bina Marga (1987, 2005). Bentuk persamaan yang akan diambil untuk dibandingkan dengan persamaan EAL berdasarkan alat yang lain adalah persamaan EAL yang lebih besar daripada persamaan EAL Bina Marga (1987, 2005).

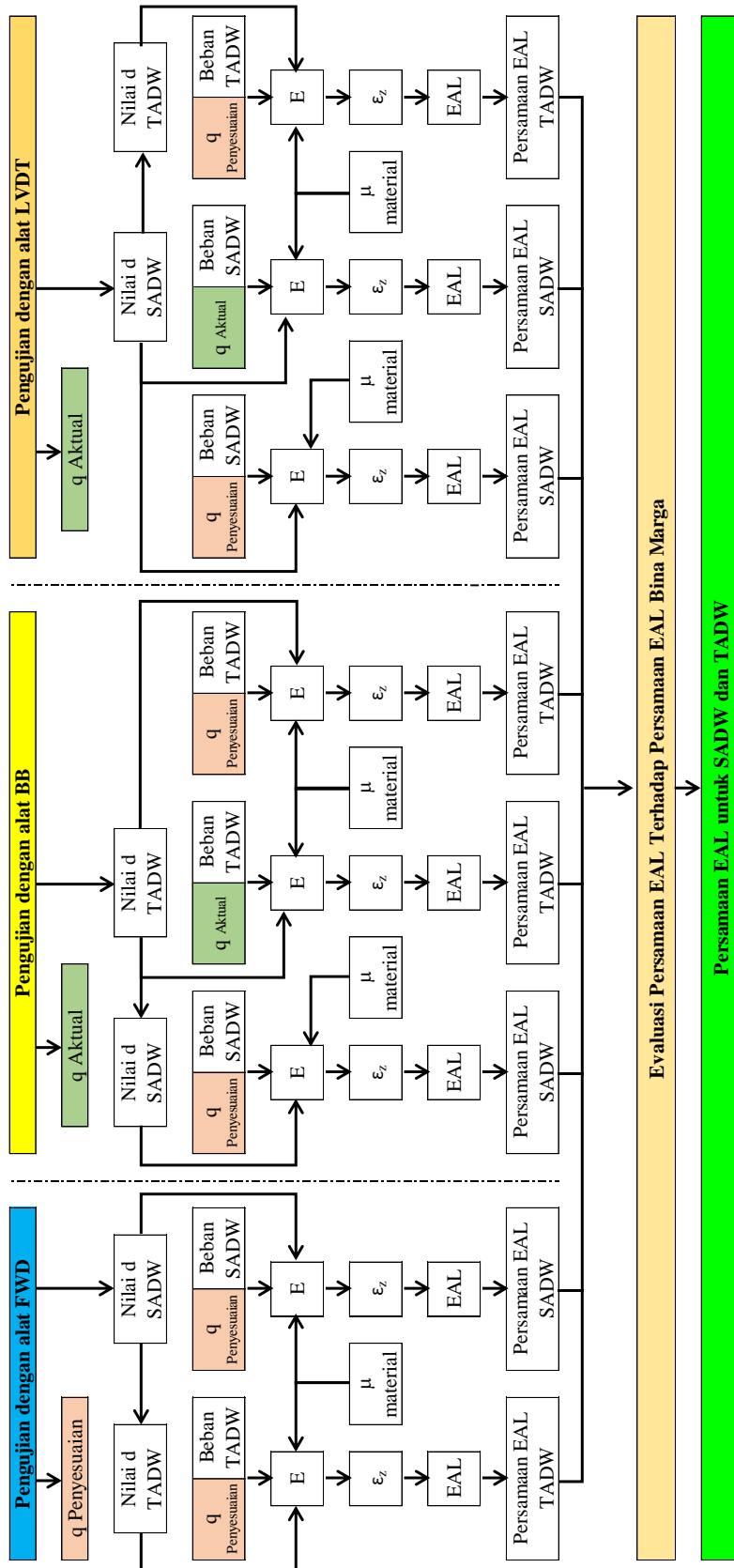
Untuk alat BB, data lendutan perkerasan jalan yang didapat adalah untuk jenis as TADW dengan nilai tekanan ban aktual atau tanpa disesuaikan dengan beban as kendaraan saat pengujian lendutan perkerasan jalan dilakukan. Data lendutan as SADW didapat dengan cara memasukkan variasi beban as SADW kedalam model matematis hasil analisis regresi terhadap beban as TADW vs nilai lendutan. Data-data tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai  $E$ ,  $\epsilon_z$  dan EAL berdasarkan nilai tekanan ban aktual dan penyesuaian tekanan ban.

Analisis untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL berikutnya adalah sama ketika mencari bentuk persamaan EAL dengan alat FWD.

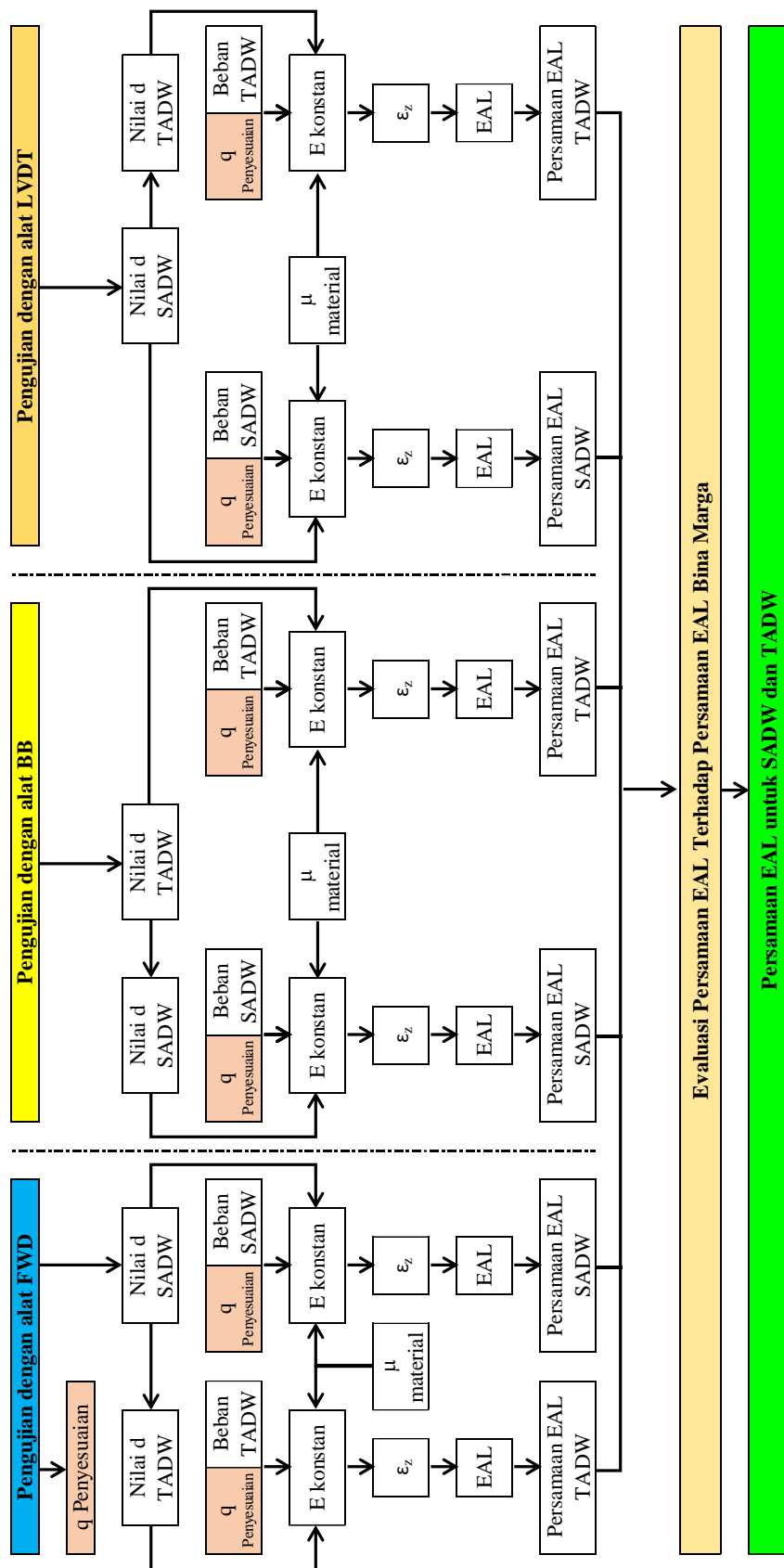
Berikutnya adalah alat LVDT, data lendutan perkerasan jalan yang didapat adalah untuk jenis as SADW dengan nilai tekanan ban aktual atau tanpa disesuaikan dengan beban as kendaraan saat pengujian lendutan perkerasan jalan dilakukan. Data lendutan as TADW didapat dengan cara memasukkan variasi beban as TADW kedalam model matematis hasil analisis regresi terhadap beban as SADW vs nilai lendutan. Data-data tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai  $E$ ,  $\varepsilon_z$  dan EAL berdasarkan nilai tekanan ban aktual dan penyesuaian tekanan ban. Analisis untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL berikutnya adalah sama ketika mencari bentuk persamaan EAL dengan alat FWD dan BB.

Gambar 3.17 memberikan gambaran alur kerja analisis penentuan bentuk persamaan EAL berdasarkan penyesuaian tekanan ban terhadap beban as kendaraan dan nilai  $E$  dianggap konstan. Data lendutan dan variasi beban yang digunakan untuk perhitungan adalah sama seperti pada penentuan bentuk persamaan EAL berdasarkan tekanan ban aktual dan penyesuaian tekanan ban. Nilai  $E$  konstan yang digunakan adalah nilai  $E$  yang didapat dari perhitungan nilai  $E$  berdasarkan data lendutan perkerasan jalan yang didapat dengan menggunakan beban standar as SADW 8.16 ton dan TADW 13.76 ton. Data lendutan, beban as dan nilai  $E$  (konstan) selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai  $\varepsilon_z$  dan EAL berdasarkan penyesuaian tekanan ban. Analisis untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL berikutnya adalah sama ketika mencari bentuk persamaan EAL dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan beban aktual dan penyesuaian tekanan ban.

Setelah semua bentuk persamaan EAL didapat berdasarkan semua skenario yang telah direncanakan, langkah berikutnya adalah menentukan bentuk persamaan EAL yang disarankan. Dasar untuk menentukan persamaan EAL yang dipilih adalah didasarkan pada persamaan EAL yang menghasilkan nilai EAL yang terbesar dalam hal ini nilai pangkat  $b$  yang terbesar terhadap semua skenario dan jenis alat yang digunakan ketika melakukan uji lendutan perkerasan jalan. Persamaan EAL yang akan ditampilkan berdasarkan jenis as SADW dan TADW.



Gambar 3.16. Diagram alir analisis penentuan bentuk persamaan EAL berdasarkan tekanan ban aktual dan penyesuaian tekanan ban terhadap beban as kendaraan



Gambar 3.17. Diagram alir analisis penentuan bentuk persamaan EAL berdasarkan nilai E konstan

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB 4**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil yang didapat dari pengujian lendutan perkerasan jalan lentur di lapangan dan pembahasan atau analisis terhadap data yang didapat. Data-data tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai Modulus Elastisitas ( $E$ ), regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ), equivalent axle load (EAL) dan mencari bentuk persamaan EAL jenis as SADW dan TADW untuk masing ruas jalan yang diteliti dengan pendekatan teori deformasi permanen (*permanent deformation*). Detil analisisnya akan dijelaskan pada uraian di bawah ini.

#### **4.1. Analisis Hasil Pengujian Lendutan Perkerasan Jalan**

Lokasi penelitian terletak pada jalan arteri ruas Tuban – Tambakboyo, jalan kolektor (Lingkar Barat Tuban) dan jalan khusus (jalan askes pabrik PT. Semen Indonesia), lihat Gambar 3.2. Pada sub-bab ini akan disajikan analisis nilai lendutan mulai dari data hasil pengujian di lapangan sampai dengan cara untuk mendapatkan nilai lendutan yang sudah terkoreksi. Nilai lendutan tersebut selanjutnya digunakan sebagai input untuk menghitung nilai  $E$  dan  $\epsilon_z$ . Analisa nilai lendutan perkerasan jalan hasil pengujian lendutan di lapangan akan disajikan berdasarkan jenis alat pengujinya, yaitu :

1. Nilai lendutan perkerasan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD)
2. Nilai lendutan balik perkerasan jalan dengan alat Benkleman Beam (BB)
3. Nilai lendutan balik perkerasan jalan dengan alat Linier Variable Displacement Transducer (LVDT).

##### **4.1.1. Nilai lendutan perkerasan jalan dengan alat *Falling weight deflectometer* (FWD)**

Untuk mendapatkan nilai lendutan perkerasan jalan, konstruksi perkerasan jalan diberi beban tumbukan (impuls) melalui pelat dengan diameter 30 cm untuk perkerasan lentur (aspal). Saat beban dijatuhkan perkerasan akan mengalami

getaran. Getaran tersebut akan direkam oleh alat *geofone* yang telah dipasang dengan jarak tertentu di atas permukaan jalan. Hasil rekaman tersebut selanjutnya diolah software khusus yang ada di dalam satu set sistem alat FWD dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk nilai tegangan (stress), nilai beban (force) dan nilai lendutan (deflection). Pada penelitian ini, untuk total tebal perkerasan 700 – 1000 mm, penempatan geofone pada jarak 0, 300, 600, 750, 900, 1200 dan 1500 (mm), (Danida,1990).

Variasi beban yang digunakan mulai beban dibawah standar, beban standar, beban overloaded dan beban sangat overloaded. Untuk mendapatkan variasi beban tersebut, dua hal yang dilakukan adalah merubah pemberat dan tinggi jatuh pada alat FWD. Meskipun dalam manual FWD sudah dijelaskan bagaimana cara untuk mendapatkan target beban yang diinginkan, dan mengingat bahwa lendutan perkerasan jalan juga tergantung pada tingkat elastisitas struktur perkerasan jalan (modulus elastisitas E), untuk mendapatkan beban yang diinginkan perlu dilakukan uji coba di lapangan terlebih dahulu. Ilustrasi kegiatan pengujian lendutan perkerasan jalan di lapangan dengan alat FWD dapat dilihat pada Gambar 4.1. Lendutan perkerasan jalan diukur pada 7 (tujuh) lokasi sensor (geofone) yang berbeda.



Gambar 4.1. Kegiatan pengujian lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat FWD



Jumlah pengujian yang dilakukan pada setiap lokasi adalah minimal sebanyak 5 kali. Namun dalam prakteknya, pengujian lendutan dengan alat FWD dilakukan sebanyak 7 kali. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kekonsistenan data hasil pengujian lendutan perkerasan jalan. Sebagai contoh, hasil pengujian lendutan pada ruas jalan Akses 1 dengan 3 variasi beban dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Nilai lendutan pada Tabel 4.1 adalah nilai lendutan hasil pengujian dengan suhu permukaan jalan 38°C dan pada saat musim hujan. Untuk mendapatkan nilai lendutan sesuai dengan kondisi standar, nilai lendutan pada Tabel 4.1 perlu dikoreksi terhadap suhu dan musim (lihat Gambar 2.12). Faktor koreksi dan hasil nilai lendutan yang sudah dikoreksi terhadap suhu dan musim dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Nilai lendutan-balik perkerasan jalan menggunakan alat FWD pada ruas jalan Akses 1

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (mm)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	38	1	422.00	61.21	29.83	3.04	0.113	0.058	0.054	0.051	0.049	0.044	0.032
		2	601.00	87.17	42.50	4.33	0.134	0.083	0.078	0.074	0.071	0.063	0.048
		3	989.00	143.44	69.87	7.12	0.175	0.134	0.128	0.120	0.115	0.104	0.078
2	38	4	418.00	60.63	29.53	3.01	0.125	0.057	0.053	0.050	0.048	0.043	0.033
		5	598.00	86.73	42.26	4.31	0.138	0.082	0.077	0.074	0.070	0.062	0.047
		6	989.00	143.44	69.93	7.13	0.180	0.133	0.126	0.120	0.114	0.102	0.077
3	38	7	423.00	61.35	29.89	3.05	0.113	0.060	0.056	0.052	0.052	0.045	0.033
		8	597.00	86.59	42.22	4.31	0.132	0.082	0.076	0.073	0.070	0.062	0.047
		9	982.00	142.43	69.38	7.07	0.181	0.136	0.128	0.121	0.117	0.104	0.079
4	38	10	418.00	60.63	29.57	3.02	0.108	0.058	0.054	0.050	0.049	0.043	0.032
		11	598.00	86.73	42.26	4.31	0.133	0.082	0.077	0.072	0.069	0.062	0.047
		12	971.00	140.83	68.62	7.00	0.177	0.134	0.127	0.120	0.115	0.103	0.078
5	38	13	421.00	61.06	29.78	3.04	0.103	0.058	0.054	0.051	0.049	0.043	0.033
		14	597.00	86.59	42.20	4.30	0.137	0.085	0.080	0.075	0.072	0.065	0.050
		15	981.00	142.28	69.31	7.07	0.180	0.134	0.127	0.118	0.114	0.102	0.076
6	38	16	421.00	61.06	29.72	3.03	0.105	0.058	0.054	0.051	0.049	0.044	0.033
		17	598.00	86.73	42.27	4.31	0.135	0.083	0.077	0.073	0.070	0.062	0.047
		18	986.00	143.01	69.70	7.11	0.178	0.133	0.126	0.119	0.114	0.102	0.077
7	38	19	421.00	61.06	29.74	3.03	0.102	0.059	0.054	0.051	0.049	0.044	0.033
		20	594.00	86.15	41.95	4.28	0.131	0.082	0.077	0.072	0.070	0.062	0.047
		21	985.00	142.86	69.59	7.10	0.180	0.133	0.126	0.120	0.116	0.102	0.077

Tabel 4.2. Nilai lendutan-balik perkerasan jalan menggunakan alat FWD pada ruas jalan Akses 1 terkoreksi terhadap suhu dan musim

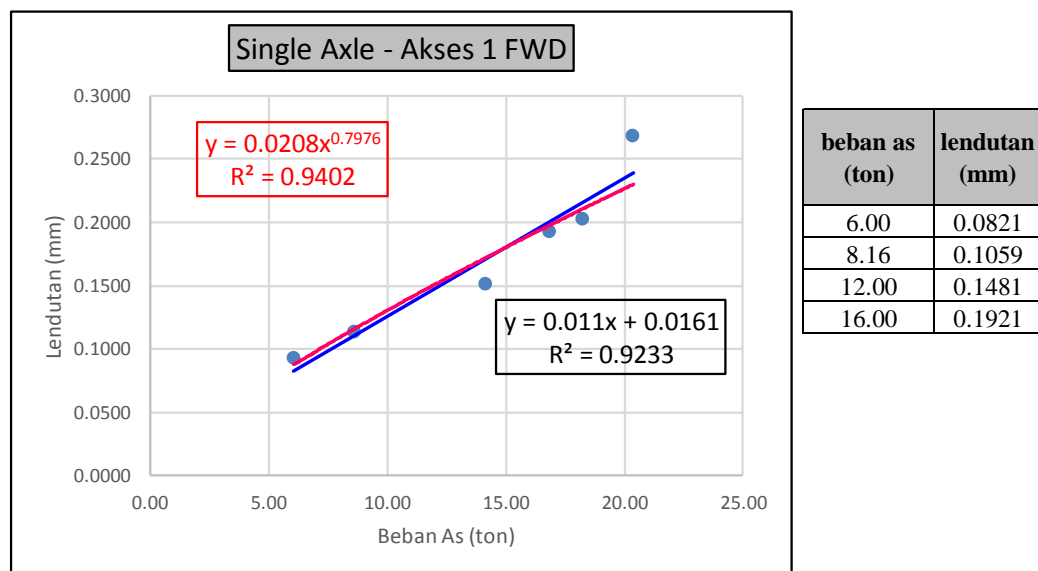
Kondisi pengujian di lapangan		Faktor koreksi											
Suhu °C	38	Koreksi suhu, Ft	0.94										
Musim	hujan	Koreksi suhu, Ca	0.90										
No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (mm)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	38	1	422.00	61.21	29.83	3.04	0.095	0.049	0.046	0.043	0.041	0.037	0.027
		2	601.00	87.17	42.50	4.33	0.113	0.070	0.066	0.062	0.060	0.054	0.041
		3	989.00	143.44	69.87	7.12	0.148	0.113	0.108	0.102	0.097	0.088	0.066
2	38	4	418.00	60.63	29.53	3.01	0.105	0.048	0.045	0.043	0.041	0.037	0.028
		5	598.00	86.73	42.26	4.31	0.117	0.069	0.065	0.062	0.059	0.053	0.040
		6	989.00	143.44	69.93	7.13	0.152	0.113	0.107	0.102	0.096	0.086	0.065
3	38	7	423.00	61.35	29.89	3.05	0.095	0.051	0.047	0.044	0.044	0.038	0.028
		8	597.00	86.59	42.22	4.31	0.112	0.069	0.065	0.061	0.059	0.052	0.039
		9	982.00	142.43	69.38	7.07	0.153	0.115	0.109	0.103	0.099	0.088	0.067
4	38	10	418.00	60.63	29.57	3.02	0.092	0.049	0.046	0.042	0.041	0.036	0.027
		11	598.00	86.73	42.26	4.31	0.112	0.069	0.065	0.061	0.058	0.052	0.040
		12	971.00	140.83	68.62	7.00	0.150	0.113	0.108	0.101	0.097	0.087	0.066
5	38	13	421.00	61.06	29.78	3.04	0.087	0.049	0.046	0.043	0.041	0.037	0.028
		14	597.00	86.59	42.20	4.30	0.116	0.072	0.067	0.064	0.061	0.055	0.042
		15	981.00	142.28	69.31	7.07	0.152	0.113	0.107	0.100	0.097	0.086	0.065
6	38	16	421.00	61.06	29.72	3.03	0.089	0.049	0.046	0.043	0.041	0.037	0.028
		17	598.00	86.73	42.27	4.31	0.114	0.070	0.065	0.062	0.059	0.053	0.040
		18	986.00	143.01	69.70	7.11	0.150	0.113	0.107	0.101	0.097	0.087	0.065
7	38	19	421.00	61.06	29.74	3.03	0.086	0.050	0.046	0.043	0.042	0.037	0.028
		20	594.00	86.15	41.95	4.28	0.111	0.069	0.065	0.061	0.059	0.052	0.039
		21	985.00	142.86	69.59	7.10	0.153	0.112	0.107	0.101	0.098	0.086	0.065

Informasi yang didapat pada Tabel 4.2 adalah nilai tegangan (stress), beban (force) dan nilai lendutan (deflection) yang terjadi pada perkerasan jalan. Nilai tegangan yang didapat akibat berat beban yang dijatuhkan pada pelat dengan diameter 300 mm adalah mempresentasikan nilai tekanan ban kendaraan dengan beban tertentu yang diterima pada permukaan perkerasan. Nilai lendutan yang didapat menunjukkan bidang cekung lendutan pada perkerasan jalan akibat beban jatuh yang identik dengan beban kendaraan pada perkerasan jalan (lihat Gambar 4.1). Pada penelitian ini, nilai lendutan yang akan digunakan adalah nilai lendutan maksimum yang terjadi pada perkerasan jalan. Nilai lendutan maksimum terjadi pada bacaan di titik D1. Sebagai contoh (lihat Tabel 4.2), dengan beban 42,50 kN (4,33 ton) dan tegangan 601,00 kpa (87,17 psi), nilai lendutan-balik maksimum (D1) yang terjadi pada perkerasan jalan adalah 0,113 mm. Untuk hasil keseluruhan pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai lendutan terkoreksi perkerasan jalan dengan menggunakan alat FWD

Lokasi	Keterangan	Variasi pembebaan					
		1	2	3	4	5	6
Akses 1	Average beban (ton)	6.0618	8.6140	14.1711	16.8437	18.2550	20.3709
	Average tegangan (psi)	60.9987	86.6704	142.6135	169.4766	183.6903	204.9625
	Average lendutan (mm)	0.0929	0.1136	0.1513	0.1928	0.2028	0.2680
Arteri 2	Average beban (ton)	5.6297	8.3022	13.7123	16.1235	17.5114	19.7076
	Average tegangan (psi)	56.6476	83.5417	137.9930	162.2144	176.1794	198.3080
	Average lendutan (mm)	0.2086	0.2462	0.3960	0.4806	0.5030	0.5700
Kolektor 1	Average beban (ton)	5.6146	8.2408	13.6989	15.9921	17.3288	19.4472
	Average tegangan (psi)	56.4818	82.9201	137.8687	160.9090	174.3768	195.6559
	Average lendutan (mm)	0.3115	0.3791	0.4724	0.5316	0.6346	0.7791
Kolektor 2	Average beban (ton)	5.6297	8.2058	13.5619	15.8603	17.2071	19.3864
	Average tegangan (psi)	56.6476	82.5472	136.4805	159.5995	173.1461	195.0758
	Average lendutan (mm)	0.3660	0.4645	0.5675	0.7094	0.7511	0.8182

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai lendutan berdasarkan beban as kendaraan seperti yang telah disebutkan pada Tabel 3.4. Untuk mendapatkan nilai pangkat (b) berdasarkan beban pada Tabel 3.4, metode analisis yang digunakan adalah analisa regresi linier. Contoh cara mendapatkan nilai lendutan pada jalan Akses 1 berdasarkan variasi beban pada Tabel 3.4 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Nilai lendutan hasil analisis regresi untuk as SADW jl. Akses 1 dengan alat FWD

Hasil regresi linier (warna biru) dan non-linier (warna merah) yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 didapatkan persamaan :

- Persamaan regresi linier :

$$Y = 0.011 X + 0.161 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$$R^2 = 0.9233$$

- Persamaan regresi non-linier :

$$Y = 0.0208 X^{0.7976} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$$R^2 = 0.9402$$

Dimana:

Y = nilai lendutan-balik (mm)

X = beban as kendaraan (ton)

R<sup>2</sup> = koefisien determinasi.

Dari hasil analisis regresi (linier dan non-linier) didapat nilai R<sup>2</sup> yang cukup tinggi yaitu 0.9233 dan 0.9402 (mendekati = 1). Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua persamaan tersebut mempunyai kecocokan yang baik antara nilai lendutan hasil model dengan data hasil pengujian. Jika ditinjau dari parameter nilai R<sup>2</sup>, maka persamaan regresi non-linier mempunyai nilai R<sup>2</sup> yang lebih tinggi daripada regresi linier. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil regresi non-linier lebih baik daripada linier.

Namun demikian, jika dilihat dari kedua trend-line tersebut, terlihat bahwa nilai lendutan yang dihasilkan oleh kedua persamaan tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang berarti (garis trend-line yang hampir berhimpitan). Pada pembebanan yang sangat overloaded, yaitu 20 ton (Gambar 4.2), terlihat bahwa nilai lendutan yang didapat dari hasil regresi linier adalah lebih besar daripada nilai lendutan yang didapat dari hasil regresi non-linier. Meskipun perbedaannya tidak terlalu besar, bentuk persamaan yang akan digunakan untuk menghitung nilai lendutan berdasarkan variasi beban rencana adalah persamaan yang dihasilkan dari analisis regresi linier (Persamaan 4.1). Contoh hasil perhitungan nilai lendutan berdasarkan variasi beban rencana dapat dilihat pada Gambar 4.2 (disamping kanan grafik).

Persamaan 4.1 selanjutnya digunakan untuk memprediksi nilai lendutan akibat beban kendaraan dengan jenis as TADW. Sebelum menggunakan persamaan tersebut, beban as TADW harus dikonversikan ke beban as SADW terlebih dahulu.

Cara untuk mengkonversi dari beban as TADW ke SADW adalah dengan membagi 2 (dua) beban as TADW, karena jumlah as pada TADW adalah 2 buah. Hasil perhitungan konversi beban as TADW menjadi beban as SADW dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Dengan memasukkan beban as kendaraan jenis TADW yang sudah dikonversi ke SADW (lihat Tabel 4.4) ke dalam Persamaan 4.1, maka didapat nilai lendutan perkerasan jalan untuk as TADW. Besarnya nilai lendutan untuk as SADW dan TADW dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4. Konversi beban as TADW menjadi SADW

Beban as (ton)	
TADW	SADW
11.00	5.50
13.76	6.88
22.00	11.00
30.00	15.00

Tabel 4.5. Nilai lendutan berdasarkan hasil regresi linier dengan alat FWD untuk jenis as SADW dan TADW

Lokasi	Persamaan	Nilai R <sup>2</sup>	SADW		TADW		
			Beban As Belakang	Nilai Lendutan	Beban as TADW belakang	Beban per As Belakang	Nilai Lendutan
			(ton)	(mm)	(ton)	(ton)	(mm)
Akses 1	$Y = 0.011 X + 0.0161$	0.9233	6.00	0.082	11.000	5.50	0.077
			8.16	0.106	13.760	6.88	0.092
			12.00	0.148	22.000	11.00	0.137
			16.00	0.192	30.000	15.00	0.181
Arteri 2	$Y = 0.0265 X + 0.0433$	0.9924	6.00	0.202	11.000	5.50	0.189
			8.16	0.260	13.760	6.88	0.226
			12.00	0.361	22.000	11.00	0.335
			16.00	0.467	30.000	15.00	0.441
Kolektor 1	$Y = 0.03 X + 0.1163$	0.9011	6.00	0.296	11.000	5.50	0.281
			8.16	0.361	13.760	6.88	0.323
			12.00	0.476	22.000	11.00	0.446
			16.00	0.596	30.000	15.00	0.566
Kolektor 2	$Y = 0.0325 X + 0.1799$	0.9771	6.00	0.375	11.000	5.50	0.359
			8.16	0.445	13.760	6.88	0.404
			12.00	0.570	22.000	11.00	0.537
			16.00	0.700	30.000	15.00	0.667

Berdasarkan nilai lendutan yang terdapat pada Tabel 4.2 dan 4.5, terlihat bahwa urutan nilai lendutan (dari kecil ke besar) akibat beban as SADW terjadi pada jalan Akses 1 selanjutnya Arteri 2, Kolektor 2 dan 1. Begitu juga untuk as

TADW hasil proyeksi dari bebas as SADW, bahwa urutan nilai lendutan dari kecil ke besar terjadi pada jalan Akses 1 selanjutnya Arteri 2, Kolektor 2 dan 1.

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa tingkat ketebalan struktur perkerasan jalan untuk ketiga lokasi penelitian adalah berbeda. Ketebalan struktur perkerasan jalan pada jalan Akses 1 mempunyai ketebalan yang paling tebal selanjutnya disusul jalan Arteri 2 dan Kolektor 1-2. Pada jalan Kolektor, meskipun mempunyai ketebalan struktur perkerasan yang sama, hasil lendutan yang didapat juga berbeda. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai lendutan tidak hanya tergantung pada tingkat ketebalan struktur perkerasan, namun juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan disekitar lokasi pengujian, misalnya kondisi sistem drainase perkerasan jalan. Selain itu, kekokohan konstruksi perkerasan jalan juga dipengaruhi oleh cuaca (hujan atau kemarau) dan suhu permukaan perkerasan jalan. Namun demikian, dari hasil penelitian di lapangan secara umum dapat disimpulkan bahwa nilai lendutan suatu perkerasan jalan lentur sangat dipengaruhi oleh tingkat ketebalan struktur perkerasan jalan, lapisan surface (paling utama), base dan subbase.

#### **4.1.2. Nilai lendutan perkerasan jalan dengan alat *Benkelman Beam* (BB)**

Sebelum ada alat FWD, alat benkelman beam (BB) adalah salah satu alat yang populer untuk mengukur nilai lendutan perkerasan jalan lentur. Seperti halnya alat FWD, pada umumnya beban yang digunakan adalah beban yang mempresentasikan untuk jenis kendaraan dengan as SADW dengan beban standar. Pada penelitian ini, penggunaan alat BB bertujuan untuk mendapatkan nilai lendutan perkerasan jalan lentur akibat beban kendaraan dengan as TADW. Hal tersebut dilakukan mengingat alat FWD tidak bisa digunakan untuk mengukur nilai lendutan perkerasan jalan akibat beban as TADW secara langsung.

Nilai lendutan perkerasan jalan yang didapat dari pengujian lendutan dengan alat BB merupakan lendutan-balik perkerasan jalan lentur. Penempatan alat BB untuk pengujian lendutan-balik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Variasi beban yang digunakan untuk pembebanan saat pengujian lendutan-balik seperti yang tertera pada Tabel 4.4 untuk as TADW. Pelaksanaan pengujian lendutan-balik perkerasan jalan dengan beban dan jenis as yang sama pada setiap

titik lokasi dilakukan minimal 5 (lima) kali. Ilustrasi pelaksanaan kegiatan pengukuran nilai lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat BB di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.3. Sedangkan hasil pengujian lendutan-balik untuk beban as TADW dapat dilihat pada Tabel 4.6 sampai dengan 4.16.



Gambar 4.3. Pelaksanaan uji lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat BB

Tabel 4.6. Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Akses 1

<b>Berat total</b>		17340	kg	17.34	ton
<b>Berat as belakang</b>		12920	kg	12.92	ton
<b>Tekanan ban</b>		150	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>		39	°C		

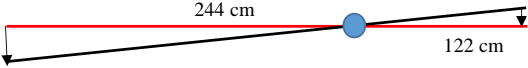
  

		244 cm		Nilai lendutan
				122 cm

Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.010	0.020	0.020	0.030	0.010	0.010	0.010			
	2	0.030	0.040	0.030	0.030	0.020	0.030	0.020			
	3	0.050	0.060	0.050	0.050	0.040	0.030	0.050			
	4	0.060	0.060	0.080	0.070	0.070	0.070	0.080			
	5	0.090	0.090	0.090	0.090	0.100	0.080	0.100			
	6	0.110	0.110	0.110	0.090	0.110	0.100	0.120			

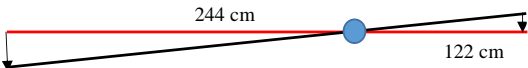
Tabel 4.7. Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Arteri 2

<b>Berat total</b>	17340	kg	17.34	ton
<b>Berat as belakang</b>	12920	kg	12.92	ton
<b>Tekanan ban</b>	150	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	45	°C		

Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.020	0.010	0.020	0.030	0.040	0.020	0.030			
	2	0.050	0.040	0.040	0.050	0.060	0.030	0.040			
	3	0.070	0.060	0.040	0.070	0.070	0.060	0.070			
	4	0.080	0.080	0.080	0.090	0.080	0.090	0.070			
	5	0.080	0.090	0.090	0.090	0.080	0.100	0.090			
	6	0.110	0.100	0.090	0.110	0.100	0.110	0.090			

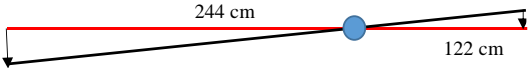
Tabel 4.8. Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Kolektor 1

<b>Berat total</b>	17340	kg	17.34	ton
<b>Berat as belakang</b>	12920	kg	12.92	ton
<b>Tekanan ban</b>	150	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	42	°C		

Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.040	0.070	0.060	0.060	0.100	0.060	0.050			
	2	0.100	0.100	0.100	0.150	0.180	0.130	0.130			
	3	0.120	0.180	0.100	0.170	0.200	0.160	0.160			
	4	0.150	0.180	0.170	0.170	0.200	0.170	0.170			
	5	0.200	0.210	0.180	0.190	0.210	0.170	0.180			
	6	0.200	0.240	0.200	0.190	0.210	0.180	0.200			

Tabel 4.9. Nilai lendutan-balik dengan alat BB untuk TADW jalan Kolektor 2

<b>Berat total</b>	17340	kg	17.34	ton
<b>Berat as belakang</b>	12920	kg	12.92	ton
<b>Tekanan ban</b>	150	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	42	°C		

Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.100	0.090	0.120	0.110	0.110	0.090	0.100			
	2	0.110	0.130	0.130	0.140	0.220	0.160	0.120			
	3	0.150	0.160	0.170	0.160	0.300	0.170	0.150			
	4	0.170	0.180	0.170	0.160	0.310	0.170	0.190			
	5	0.190	0.180	0.200	0.170	0.340	0.170	0.190			
	6	0.200	0.210	0.190	0.210	0.350	0.200	0.220			

Nilai lendutan-balik yang tercatat pada Tabel 4.6 – 4.9 adalah nilai lendutan-balik balik pada  $\frac{1}{2}$  ( $=122/244$ ) terhadap nilai lendutan-balik yang sesungguhnya terjadi



tepat di tengah roda (pada ujung stik alat BB). Untuk mendapatkan nilai lendutan-balik yang sesungguhnya, nilai lendutan-balik pada tabel tersebut harus dikalikan faktor pengali 2. Selain dikalikan 2, nilai lendutan-balik pada Tabel 4.6 – 4.9 juga harus dikoreksi terhadap suhu permukaan dan musim saat pengujian (lihat Gambar 2.12). Nilai lendutan-balik perkerasan jalan yang sudah dikalikan 2 dan terkoreksi dapat dilihat pada Tabel 4.10 sampai dengan Tabel 4.13.

Tabel 4.10. Nilai lendutan-balik *terkoreksi* dengan alat BB untuk TADW jalan Akses 1

Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	Kondisi pengujian di lapangan		Faktor koreksi						
	Suhu °C	39	Koreksi suhu, Ft		0.92				
	Musim	hujan	Koreksi musim, Ca		0.90				
	No Test	1	2	3	4	5	6	7	Average
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1	0.017	0.033	0.033	0.050	0.017	0.017	0.017	0.026
	2	0.050	0.066	0.050	0.050	0.033	0.050	0.033	0.047
	3	0.083	0.100	0.083	0.083	0.066	0.050	0.083	0.078
	4	0.100	0.100	0.133	0.116	0.116	0.116	0.133	0.116
	5	0.149	0.149	0.149	0.149	0.166	0.133	0.166	0.152
	6	0.183	0.183	0.183	0.149	0.183	0.166	0.199	0.178
<b>Nilai lendutan (D6-D0), (mm)</b>									<b>0.178</b>

Tabel 4.11. Nilai lendutan-balik *terkoreksi* dengan alat BB untuk TADW jalan Arteri 2

Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	Kondisi pengujian di lapangan		Faktor koreksi						
	Suhu °C	45	Koreksi suhu, Ft		0.83				
	Musim	hujan	Koreksi musim, Ca		0.90				
	No Test	1	2	3	4	5	6	7	Average
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1	0.030	0.015	0.030	0.045	0.060	0.030	0.045	0.036
	2	0.074	0.060	0.060	0.074	0.089	0.045	0.060	0.066
	3	0.104	0.089	0.060	0.104	0.104	0.089	0.104	0.094
	4	0.119	0.119	0.119	0.134	0.119	0.134	0.104	0.121
	5	0.119	0.134	0.134	0.134	0.119	0.149	0.134	0.132
	6	0.164	0.149	0.134	0.164	0.149	0.164	0.134	0.151
<b>Nilai lendutan (D6-D0), (mm)</b>									<b>0.151</b>

Tabel 4.12. Nilai lendutan-balik *terkoreksi* dengan alat BB untuk TADW jl. Kolektor 1

	Kondisi pengujian di lapangan		Faktor koreksi						
	Suhu °C	42	Koreksi suhu, Ft		0.87				
	Musim	hujan	Koreksi musim, Ca		0.90				
	No Test	1	2	3	4	5	6	7	Average
	Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1	0.063	0.110	0.094	0.094	0.157	0.094	0.078	0.099
	2	0.157	0.157	0.157	0.235	0.283	0.204	0.204	0.200
	3	0.188	0.283	0.157	0.267	0.314	0.251	0.251	0.244
	4	0.235	0.283	0.267	0.267	0.314	0.267	0.267	0.271
	5	0.314	0.330	0.283	0.298	0.330	0.267	0.283	0.300
	6	0.314	0.377	0.314	0.298	0.330	0.283	0.314	0.318
Nilai lendutan (D6-D0), (mm)									0.318

Tabel 4.13. Nilai lendutan-balik *terkoreksi* dengan alat BB untuk TADW jl. Kolektor 2

	Kondisi pengujian di lapangan		Faktor koreksi						
	Suhu °C	42	Koreksi suhu, Ft		0.87				
	Musim	hujan	Koreksi musim, Ca		0.90				
	No Test	1	2	3	4	5	6	7	Average
	Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1	0.157	0.141	0.188	0.173	0.173	0.141	0.157	0.161
	2	0.173	0.204	0.204	0.220	0.345	0.251	0.188	0.226
	3	0.235	0.251	0.267	0.251	0.471	0.267	0.235	0.283
	4	0.267	0.283	0.267	0.251	0.487	0.267	0.298	0.303
	5	0.298	0.283	0.314	0.267	0.534	0.267	0.298	0.323
	6	0.314	0.330	0.298	0.330	0.549	0.314	0.345	0.354
Nilai lendutan (D6-D0), (mm)									0.354

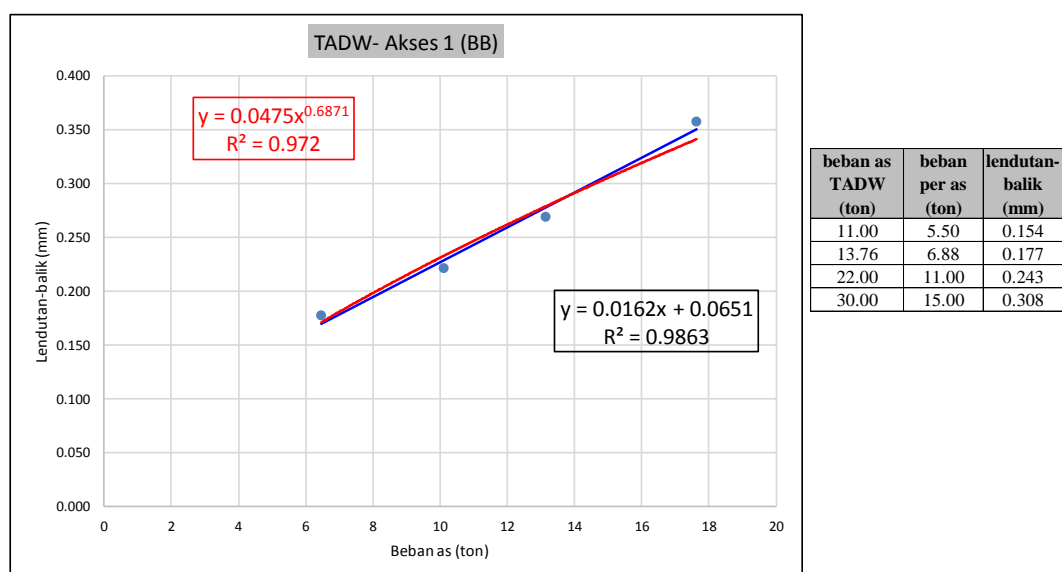
Nilai lendutan-balik pada Tabel 4.10 sampai dengan Tabel 4.13 adalah salah satu contoh hasil nilai lendutan untuk jenis as TADW dengan berat as 12,92 ton. Sedangkan nilai lendutan-balik untuk as TADW dengan variasi beban dan lokasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Setelah nilai lendutan perkerasan jalan didapat, langkah selanjutnya adalah mencari nilai lendutan-balik berdasarkan beban as kendaraan seperti yang telah

disebutkan pada Tabel 3.4. Untuk mendapatkan nilai pangkat (b) berdasarkan beban pada Tabel 3.4, metode analisis yang digunakan adalah analisa regresi. Contoh cara mendapatkan nilai lendutan-balik pada jalan Akses 1 berdasarkan variasi beban pada Tabel 3.4 dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.14. Nilai lendutan-balik *terkoreksi* dengan alat BB untuk TADW dengan variasi beban as kendaraan

Lokasi	Beban Total	Beban As Tandem Belakang	Beban Per As Belakang	Tek. Ban	Lendutan
	(ton)	(ton)	(ton)	(psi)	(mm)
Akses 1	17.34	12.92	6.46	150	0.178
	23.88	20.18	10.09	150	0.221
	33.36	26.26	13.13	180	0.269
	43.00	35.26	17.63	180	0.358
Arteri 2	17.34	12.92	6.46	150	0.151
	23.88	20.18	10.09	150	0.285
	33.36	26.26	13.13	180	0.389
	43.00	35.26	17.63	180	0.481
Kolektor 1	17.34	12.92	6.46	150	0.318
	23.88	20.18	10.09	150	0.567
	33.36	26.26	13.13	180	0.701
	43.00	35.26	17.63	180	0.847
Kolektor 2	17.34	12.92	6.46	150	0.354
	23.88	20.18	10.09	150	0.666
	33.36	26.26	13.13	180	0.812
	43.00	35.26	17.63	180	1.172



Gambar 4.4. Nilai lendutan-balik hasil analisis regresi untuk as TADW jl. Akses 1 dengan alat BB

Hasil regresi linier (warna biru) dan non-linier (warna merah) yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 didapatkan persamaan :

➤ Persamaan regresi linier :

$$Y = 0.0162 X + 0.0651 \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

$$R^2 = 0.9863$$

➤ Persamaan regresi non-linier :

$$Y = 0.0475 X^{0.6871} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

$$R^2 = 0.972$$

Dimana:

Y = nilai lendutan-balik (mm)

X = beban as kendaraan (ton)

R<sup>2</sup> = koefisien determinasi.

Dari hasil analisis regresi (linier dan non-linier) didapat nilai R<sup>2</sup> yang cukup tinggi yaitu 0.9863 dan 0.972 (mendekati = 1). Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua persamaan tersebut mempunyai kecocokan yang baik antara nilai lendutan-balik hasil model dengan data hasil pengujian. Dilihat dari nilai R<sup>2</sup>, persamaan regresi linier mempunyai nilai R<sup>2</sup> yang lebih tinggi daripada regresi non-linier. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil regresi linier lebih baik daripada non-linier.

Namun demikian, jika dilihat dari kedua trend-line tersebut, terlihat bahwa nilai lendutan yang dihasilkan oleh kedua persamaan tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang berarti (garis trend-line yang hampir berhimpitan). Pada pembebanan yang sangat overloaded, yaitu 18 ton (Gambar 4.4), terlihat bahwa nilai lendutan yang didapat dari hasil regresi linier adalah lebih besar daripada nilai lendutan yang didapat dari hasil regresi non-linier. Meskipun perbedaannya tidak terlalu besar, bentuk persamaan yang akan digunakan untuk menghitung nilai lendutan berdasarkan variasi beban rencana adalah persamaan yang dihasilkan dari analisis regresi linier (Persamaan 4.3). Selain itu, nilai R<sup>2</sup> hasil analisis regresi linier juga menunjukkan hasil yang lebih besar (lebih baik) daripada hasil analisis regresi non-linier. Contoh hasil perhitungan nilai lendutan berdasarkan variasi beban rencana dapat dilihat pada Gambar 4.4 (disamping kanan grafik), sedangkan hasil

perhitungan nilai lendutan-balik perkerasan jalan untuk lokasi yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat BB untuk jenis as TADW

Lokasi	Persamaan	Nilai R <sup>2</sup>	TADW		
			Beban As Tandem Belakang	Beban Per As Roda Belakang	Nilai Lendutan
			(ton)	(ton)	(mm)
Akses 1	$Y = 0.0162 X + 0.00651$	0.9863	11.00	5.50	0.154
			13.76	6.88	0.177
			22.00	11.00	0.243
			30.00	15.00	0.308
Arteri 2	$Y = 0.0297 X - 0.0244$	0.9800	11.00	5.50	0.139
			13.76	6.88	0.180
			22.00	11.00	0.302
			30.00	15.00	0.421
Kolektor 1	$Y = 0.0466 X + 0.0568$	0.9658	11.00	5.50	0.313
			13.76	6.88	0.377
			22.00	11.00	0.569
			30.00	15.00	0.756
Kolektor 2	$Y = 0.0714 X - 0.0933$	0.9918	11.00	5.50	0.299
			13.76	6.88	0.398
			22.00	11.00	0.692
			30.00	15.00	0.978

Berdasarkan nilai lendutan-balik yang terdapat pada Tabel 4.15, terlihat bahwa urutan nilai lendutan-balik dari kecil ke besar akibat beban as TADW terjadi pada jalan Akses 1 selanjutnya Arteri 2, Kolektor 1 dan 2. Mengingat hasil nilai lendutan dengan alat BB mempunyai tren yang hampir sama dengan alat FWD, hal tersebut menunjukkan bahwa secara umum faktor ketebalan perkerasan jalan pada struktur jalan lentur masih sangat berpengaruh terhadap nilai lendutan akibat beban kendaraan pada perkerasan jalan.

Nilai lendutan pada Tabel 4.15 adalah nilai lendutan yang didapat berdasarkan jenis as TADW. Untuk mendapatkan nilai lendutan jenis as SADW dengan alat BB adalah dengan cara memasukkan beban as SADW ke dalam persamaan pada Tabel 4.15 sesuai dengan nama lokasi ruas jalan yang diteliti. Hasil nilai lendutan perkerasan jalan untuk jenis as TADW dan SADW dengan berbagai variasi beban dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat BB untuk jenis as TADW dan SADW

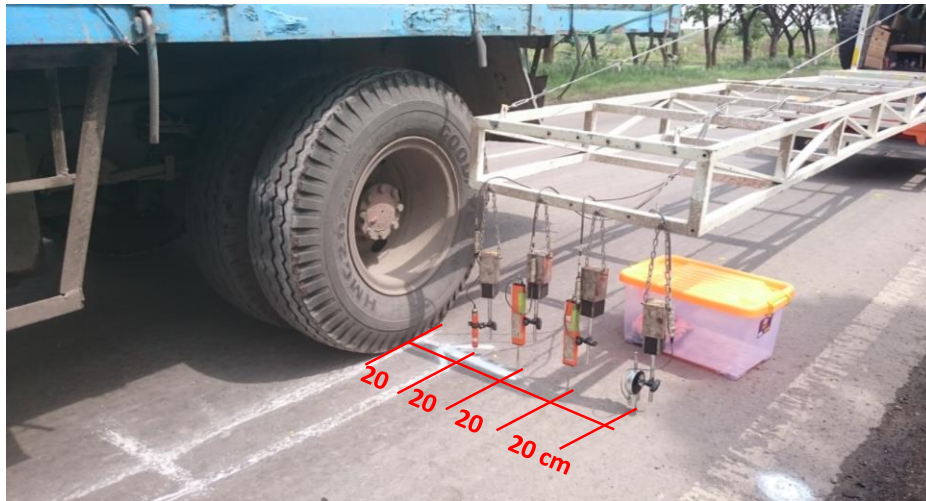
Lokasi	Persamaan	Nilai R <sup>2</sup>	TADW			SADW	
			Beban As Tandem Belakang	Beban Per As Roda Belakang	Nilai Lendutan	Beban As Belakang	Nilai Lendutan
			(ton)	(ton)	(mm)	(ton)	(mm)
Akses 1	$Y = 0.0162 X + 0.00651$	0.9863	11.00	5.50	0.154	6.00	0.162
			13.76	6.88	0.177	8.16	0.197
			22.00	11.00	0.243	12.00	0.260
			30.00	15.00	0.308	16.00	0.324
Arteri 2	$Y = 0.0297 X - 0.0244$	0.9800	11.00	5.50	0.139	6.00	0.154
			13.76	6.88	0.180	8.16	0.218
			22.00	11.00	0.302	12.00	0.332
			30.00	15.00	0.421	16.00	0.451
Kolektor 1	$Y = 0.0466 X + 0.0568$	0.9658	11.00	5.50	0.313	6.00	0.336
			13.76	6.88	0.377	8.16	0.437
			22.00	11.00	0.569	12.00	0.616
			30.00	15.00	0.756	16.00	0.802
Kolektor 2	$Y = 0.0714 X - 0.0933$	0.9918	11.00	5.50	0.299	6.00	0.335
			13.76	6.88	0.398	8.16	0.489
			22.00	11.00	0.692	12.00	0.764
			30.00	15.00	0.978	16.00	1.049

#### 4.1.3. Nilai lendutan perkerasan jalan dengan alat *Linier Variable Displacement Transducer* (LVDT)

Seperti yang telah diterangkan pada bab sebelumnya, bahwa alat LVDT pada umumnya digunakan untuk mengukur penurunan atau perubahan panjang secara linier. Dalam penelitian ini, alat tersebut digunakan untuk merekam data lendutan-balik pada perkerasan jalan. Metode atau cara penggunaan LVDT untuk mengukur nilai lendutan-balik perkerasan jalan dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan 3.14. Cara untuk mendapatkan data lendutan-balik pada perkerasan jalan adalah merujuk pada cara kerja alat BB. Nilai lendutan-balik maksimum yang didapat adalah nilai lendutan-balik pada bacaan 6 meter dari titik awal (lihat Gambar 3.13).

Jenis as kendaraan yang digunakan dalam pengujian lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat LVDT adalah jenis as SADW. Variasi pembebanan untuk pengujian lendutan-balik dengan alat LVDT adalah sama dengan variasi beban yang digunakan alat FWD.

Sebagai ilustrasi, pada Gambar 4.5 ditunjukkan proses pengujian lendutan-balik dengan menggunakan alat LVDT. Sedangkan hasil pengujian lendutan-balik dengan alat LVDT dapat dilihat pada Tabel 4.17.



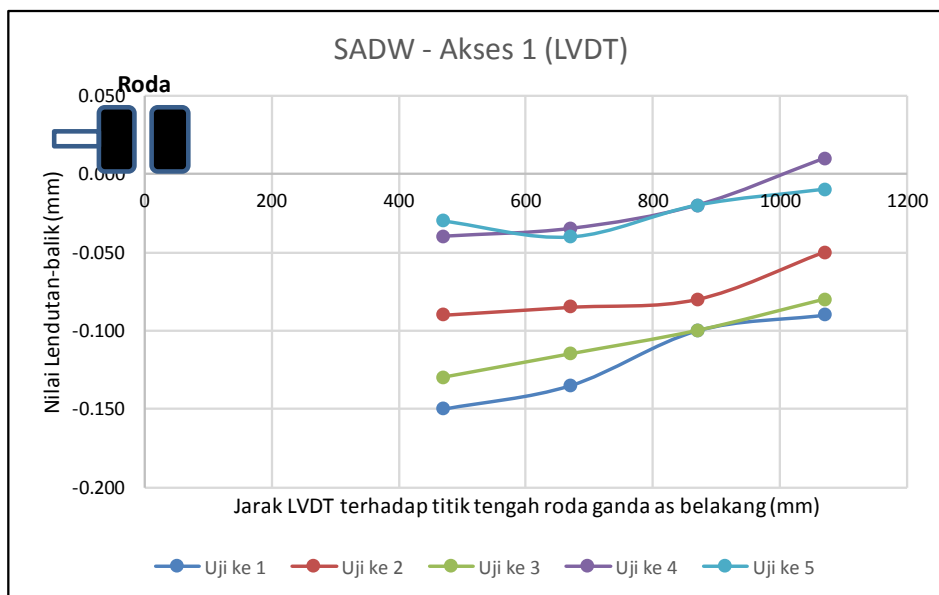
Gambar 4.5. Pengujian lendutan-balik dengan alat LVDT

Tabel 4.17. Nilai lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW

Jenis as	SADW						
Berat as	7.32 ton						
No. LVDT	Jarak LVDT (*)	Nilai Lendutan-balik (mm)					
	(mm)	Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 4	Uji ke 5	Rata-2
1	470	-0.150	-0.090	-0.130	-0.040	-0.030	-0.088
2	670	-0.135	-0.085	-0.115	-0.035	-0.040	-0.082
3	870	-0.100	-0.080	-0.100	-0.020	-0.020	-0.064
4	1070	-0.090	-0.050	-0.080	0.010	-0.010	-0.044

(\*) = jarak LVDT terhadap titik tengah antar roda ganda as belakang

Pada Tabel 4.17 diberikan hasil pengujian lendutan-balik untuk jenis as SADW dengan beban as 7.32 ton. Nilai lendutan negatif pada Tabel 4.17 menunjukkan nilai lendutan yang terjadi di bawah permukaan perkerasan jalan, dimana permukaan perkerasan jalan dijadikan sebagai titik acuan bacaan (titik 0). Sebaliknya, nilai positif menunjukkan nilai lendutan di atas permukaan jalan. Ilustrasi nilai lendutan yang terjadi pada perkerasan jalan seperti yang disajikan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Ilustrasi lendutan-balik perkerasan jalan dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW

Tabel 4.1 dan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa hampir semua nilai lendutan-balik terbesar terjadi pada LVDT yang terletak dekat dengan roda kendaraan (LVDT nomor 1). Hanya ada satu pengujian, yaitu uji ke 5, dimana nilai lendutan-balik pada LVDT nomor 1 mempunyai nilai lebih kecil daripada nomor 2. Kejadian tersebut kemungkinan adanya noise yang ada pada rangkaian elektronik di dalam alat LVDT. Dengan demikian hasil nilai lendutan-balik pada uji ke 5 tidak dapat digunakan untuk proses analisis selanjutnya. Untuk proses analisis selanjutnya, data lendutan yang digunakan adalah nilai lendutan pada uji lendutan ke 1 sampai dengan 4.

Pada hasil lendutan-balik yang disajikan pada Gambar 4.6 belum terlihat perbedaan nilai lendutan-balik antara uji ke 1 sampai dengan ke 4. Masing-masing hasil uji lendutan balik mempunyai koordinat titik awal (bacaan LVDT nomor 4) yang berbeda-beda. Sehingga perbedaan nilai lendutan-balik maksimum yang terjadi pada bacaan LVDT nomor 1 belum dapat diketahui. Untuk mendapatkan gambaran perbedaan nilai lendutan-balik antar hasil pengujian lendutan-balik diperlukan koordinat titik acuan atau titik awal yang sama.

Dari hasil pengujian lendutan-balik (Tabel 4.17) ditunjukkan bahwa nilai lendutan-balik maksimum terjadi pada LVDT nomor 1, selanjutnya nilai yang



serupa diperoleh dari LVDT nomor 2, 3 dan 4. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin dekat jarak LVDT terhadap titik tengah antar roda as belakang, semakin besar nilai lendutan-balik yang didapat. Atas dasar hal tersebut, hasil bacaan lendutan-balik yang akan dijadikan koordinat titik acuan atau titik awal adalah bacaan LVDT nomor 4.

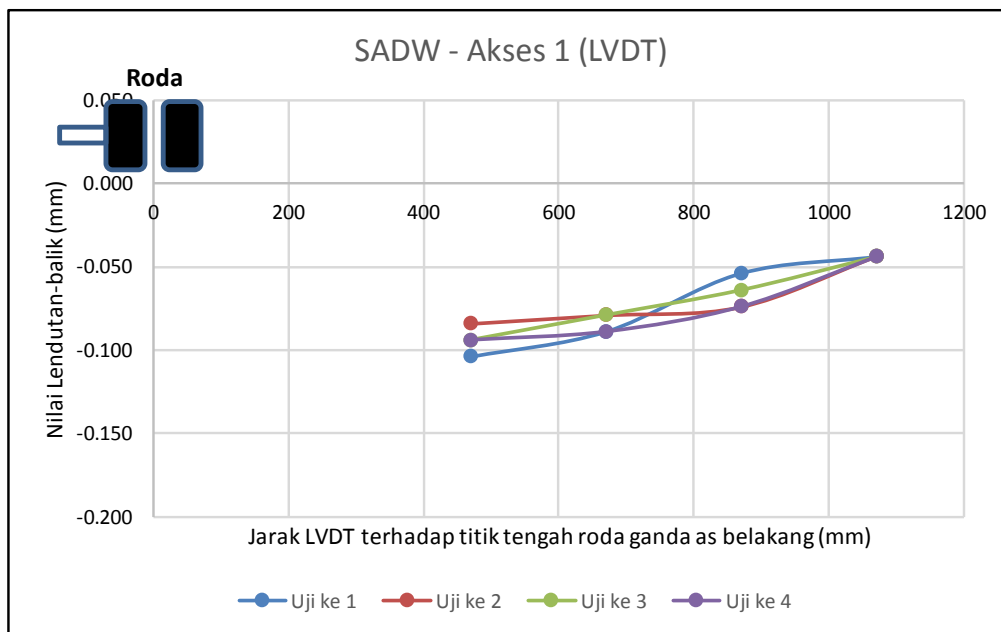
Untuk mendapatkan koordinat titik acuan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai lendutan-balik rata-rata dari bacaan LVDT nomor 4. Nilai lendutan-balik rata-rata pada bacaan LVDT nomor 4 adalah -0.044 (lihat Tabel 4.17). Langkah berikutnya adalah mendapatkan nilai lendutan-balik yang didasarkan pada nilai lendutan-balik rata-rata bacaan LVDT nomor 4. Sebagai contoh, cara untuk mendapatkan nilai lendutan-balik pada bacaan LVDT nomor 1 (= -0.104 pada Tabel 4.18) uji ke 1 adalah besarnya nilai lendutan-balik LVDT nomor 1 (= - 0.150 pada Tabel 4.17) dikurangi bacaan LVDT nomor 4 (= -0.090 pada Tabel 4.17) ditambah nilai lendutan-balik rata-rata bacaan LVDT nomor 4 (= -0.044 pada Tabel 4.17). Hasil perhitungan nilai lendutan-balik dengan penyeragaman titik acuan nilai lendutan-balik terhadap bacaan LVDT nomor 4 dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.7.

Berdasarkan nilai lendutan-balik rata-rata yang terdapat pada Tabel 4.18, langkah berikutnya adalah mencari nilai lendutan-balik tepat di tengah roda ganda seperti halnya nilai lendutan-balik yang didapat dengan alat BB. Untuk mendapatkan nilai tersebut, pendekatan yang digunakan adalah dengan analisa regresi non-linier. Diasumsikan bahwa nilai lendutan-balik yang terbaca LVDT di sisi luar roda mempunyai nilai yang sama (simetris) dengan nilai lendutan-balik yang akan terjadi di sisi dalam roda kendaraan. Ilustrasi nilai lendutan-balik hasil regresi non-linier dapat dilihat pada Gambar 4.8.

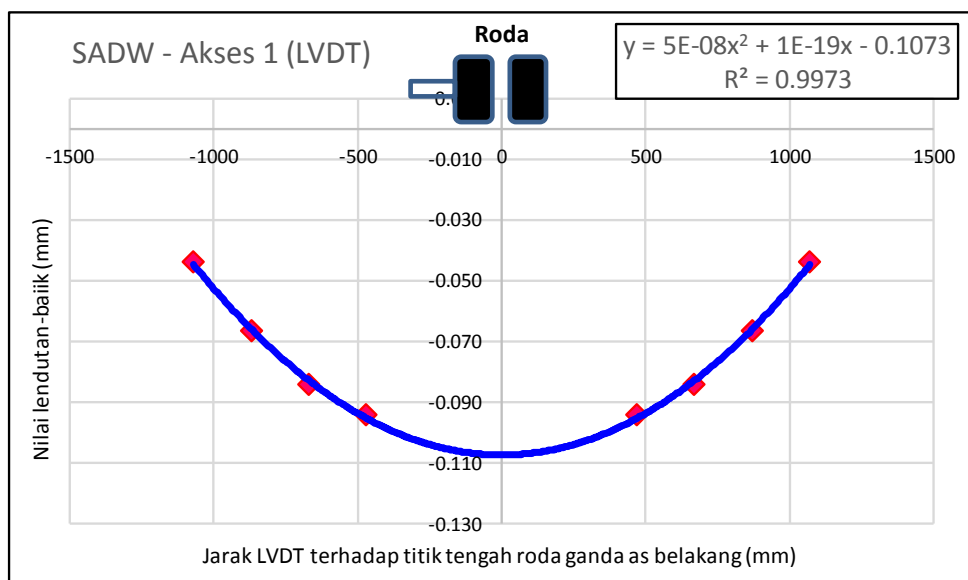
Tabel 4.18. Nilai lendutan-balik hasil penyeragaman titik acuan terhadap LVDT nomor 4 dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW

<b>Jenis as</b>	SADW					
<b>Berat as</b>	7.32 ton					
<b>No. LVDT</b>	<b>Jarak LVDT (*)</b>	<b>Nilai Lendutan-balik (mm)</b>				
	<b>(mm)</b>	<b>Uji ke 1</b>	<b>Uji ke 2</b>	<b>Uji ke 3</b>	<b>Uji ke 4</b>	<b>Rata-2</b>
<b>1</b>	<b>470</b>	-0.104	-0.084	-0.094	-0.094	-0.094
<b>2</b>	<b>670</b>	-0.089	-0.079	-0.079	-0.089	-0.084
<b>3</b>	<b>870</b>	-0.054	-0.074	-0.064	-0.074	-0.067
<b>4</b>	<b>1070</b>	-0.044	-0.044	-0.044	-0.044	-0.044

(\*) = jarak LVDT terhadap titik tengah antar roda ganda as belakang



Gambar 4.7. Ilustrasi nilai lendutan-balik hasil penyeragaman titik acuan terhadap LVDT nomor 4 dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW



Gambar 4.8. Ilustrasi bacaan lendutan-balik dengan LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW

Pada Gambar 4.8 terlihat bentuk persamaan yang dihasilkan dari analisis regresi non-linier adalah :

$$Y = (5 \times 10^{-8}) X^2 + (1 \times 10^{-19}) X - 0.1073 \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

$$R^2 = 0.9973$$

Berdasarkan nilai  $R^2$  yang tinggi yaitu 0.9973 (mendekati = 1), artinya persamaan tersebut mempunyai kecocokan yang baik antara nilai lendutan-balik hasil model dengan data hasil pengujian. Berdasarkan persamaan tersebut nilai lendutan-balik maksimum akan terjadi pada jarak (x) sama dengan nol atau tepat di tengah roda ganda yaitu sebesar 0.1073 mm. Selanjutnya, nilai lendutan-balik maksimum pada perkerasan jalan untuk lokasi yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Nilai lendutan-balik hasil analisa regresi non-linier tepat di tengah roda ganda dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW

Lokasi	Nilai Lendutan (mm)			
	Berat As (ton)			
	7.32	8.16	13.20	17.52
Akses 1	0.107	0.134	0.168	0.285
Arteri 2	0.071	0.177	0.283	0.365
Kolektor 1	0.222	0.290	0.496	0.649
Kolektor 2	0.143	0.302	0.333	0.617

Berbeda dengan penjelasan tentang pengertian nilai negatif dan positif pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.6, pemberian nilai positif pada nilai lendutan-balik seperti yang tercantum pada Tabel 4.19 adalah bertujuan untuk memudahkan proses analisis berikutnya. Untuk mendapatkan nilai lendutan-balik yang sesungguhnya, nilai lendutan pada Tabel 4.19 perlu dikoreksi terhadap suhu permukaan perkerasan jalan dan cuaca (musim) pada saat pengujian lendutan-balik di lapangan, Bina Marga (2005). Besarnya faktor koreksi terhadap suhu permukaan perkerasan jalan dan cuaca (musim) dapat dilihat pada Tabel 4.20. Sedangkan nilai lendutan-balik terkoreksi dapat dilihat pada Tabel 4.21.

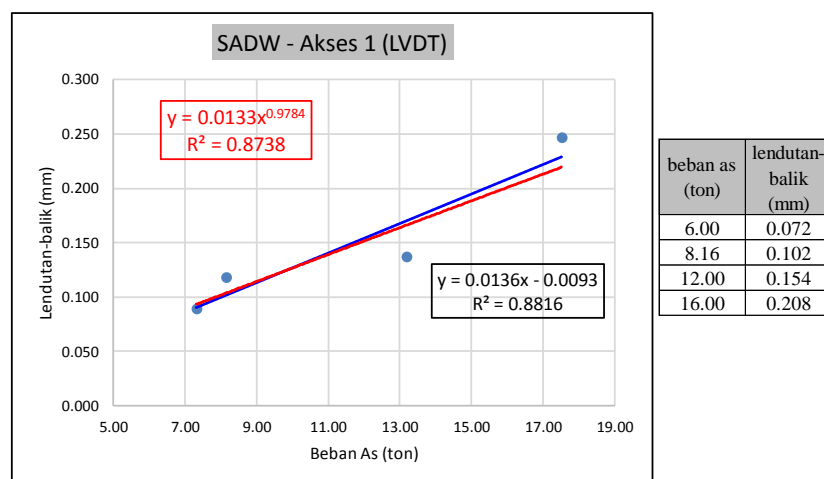
Langkah selanjutnya adalah mencari nilai lendutan-balik berdasarkan beban as kendaraan seperti yang telah disebutkan pada Tabel 3.4. Untuk mendapatkan nilai lendutan-balik berdasarkan beban tersebut, metode analisis yang digunakan adalah analisis regresi linier dan non-linier. Contoh cara mendapatkan nilai lendutan-balik pada jalan Akses 1 berdasarkan variasi beban pada Tabel 3.4 dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Tabel 4.20. Faktor koreksi suhu permukaan perkerasan jalan dan musim

Lokasi	Faktor Koreksi	Berat As (ton)			
		7.32	8.16	13.20	17.52
Akses 1	Suhu	39.00	36.00	40.00	37.00
	Musim	hujan	hujan	hujan	hujan
	Ft	0.92	0.98	0.90	0.96
	Ca	0.90	0.90	0.90	0.90
Arteri 2	Suhu	42.00	41.00	41.00	41.00
	Musim	hujan	hujan	hujan	hujan
	Ft	0.87	0.89	0.89	0.89
	Ca	0.90	0.90	0.90	0.90
Kolektor 1	Suhu	40.00	41.00	40.00	41.00
	Musim	hujan	hujan	hujan	hujan
	Ft	0.90	0.89	0.90	0.89
	Ca	0.90	0.90	0.90	0.90
Kolektor 2	Suhu	40.00	41.00	40.00	41.00
	Musim	hujan	hujan	hujan	hujan
	Ft	0.90	0.89	0.90	0.89
	Ca	0.90	0.90	0.90	0.90

Tabel 4.21. Nilai lendutan-balik hasil analisa regresi non-linier tepat di tengah roda ganda *terkoreksi* dengan alat LVDT pada jalan Akses 1 untuk jenis as SADW

Lokasi	Nilai Lendutan (mm)			
	Berat Grup As (ton)			
	7.32	8.16	13.20	17.52
Akses 1	0.089	0.118	0.137	0.246
Arteri 2	0.056	0.141	0.226	0.292
Kolektor 1	0.180	0.231	0.404	0.518
Kolektor 2	0.116	0.242	0.271	0.493



Gambar 4.9. Nilai lendutan-balik hasil analisis regresi untuk as SADW jl. Akses 1 dengan alat LVDT

Dari hasil regresi linier (warna biru) dan non-linier (warna merah) yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 didapatkan persamaan :

- Persamaan regresi linier :

$$Y = 0.0136 X - 0.0093 \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

$$R^2 = 0.8816$$

- Persamaan regresi non-linier :

$$Y = 0.0133 X^{0.9784} \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

$$R^2 = 0.8738$$

Dimana:

Y = nilai lendutan-balik (mm)

X = beban as kendaraan (ton)

$R^2$  = koefisien determinasi.

Dari hasil analisis regresi (linier dan non-linier) didapat nilai  $R^2$  yang cukup tinggi yaitu 0.8816 dan 0.8738 (mendekati = 1). Hasil tersebut menunjukkan bahwa persamaan tersebut mempunyai kecocokan yang baik antara nilai lendutan-balik hasil model dengan data hasil pengujian. Berdasarkan nilai  $R^2$ , persamaan regresi linier mempunyai nilai  $R^2$  yang lebih tinggi daripada regresi non-linier. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil regresi linier lebih baik daripada non-linier.

Namun demikian, jika dilihat dari kedua trend-line tersebut, terlihat bahwa nilai lendutan yang dihasilkan oleh kedua persamaan tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang berarti (garis trend-line yang hampir berhimpitan). Pada pembebanan yang sangat overloaded, yaitu 17 ton (Gambar 4.9), terlihat bahwa nilai lendutan yang didapat dari hasil regresi linier adalah lebih besar daripada nilai lendutan yang didapat dari hasil regresi non-linier. Meskipun perbedaannya tidak terlalu besar, bentuk persamaan yang akan digunakan untuk menghitung nilai lendutan berdasarkan variasi beban rencana adalah persamaan yang dihasilkan dari analisis regresi linier (Persamaan 4.6). Selain itu, nilai  $R^2$  hasil analisis regresi linier juga menunjukkan hasil yang lebih besar (lebih baik) daripada hasil analisis regresi non-linier. Contoh hasil perhitungan nilai lendutan berdasarkan variasi beban rencana dapat dilihat pada Gambar 4.9 (disamping kanan grafik), sedangkan hasil perhitungan nilai lendutan-balik perkerasan jalan untuk lokasi yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22. Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat LVDT untuk as SADW

Jenis As	Lokasi	Persamaan	Nilai $R^2$	Beban As Belakang	Nilai Lendutan
				(ton)	(mm)
SADW	Akses 1	$Y = 0.0136 X - 0.0093$	0.8816	6.00	0.072
				8.16	0.102
				12.00	0.154
				16.00	0.208
	Arteri 2	$Y = 0.0206 X - 0.0598$	0.9180	6.00	0.064
				8.16	0.108
				12.00	0.187
				16.00	0.270
	Kolektor 1	$Y = 0.0327 X - 0.0439$	0.9906	6.00	0.152
				8.16	0.223
				12.00	0.349
				16.00	0.479
	Kolektor 2	$Y = 0.0307 X - 0.0743$	0.8658	6.00	0.110
				8.16	0.176
				12.00	0.294
				16.00	0.417

Hasil perhitungan pada Tabel 4.22 terlihat bahwa urutan nilai lendutan-balik dari kecil ke besar akibat beban as SADW terjadi pada jalan Akses 1 selanjutnya Arteri 2, Kolektor 1 dan 2. Jika diperhatikan hasil uji lendutan perkerasan jalan terhadap ketiga alat, yaitu FWD, BB dan LVDT, nilai lendutan yang didapat mempunyai trend yang hampir sama untuk ke tiga alat tersebut, hal tersebut menunjukkan bahwa secara umum faktor ketebalan perkerasan jalan pada struktur jalan lentur sangat berpengaruh terhadap nilai lendutan akibat beban kendaraan pada perkerasan jalan.

Seperti halnya pada alat FWD, nilai lendutan perkerasan jalan akibat beban as TADW didapat dengan cara memasukkan beban as TADW (lihat Tabel 4.4) ke dalam persamaan hasil analisis regresi seperti yang tercantum pada Tabel 4.22. Hasil perhitungan nilai lendutan-balik perkerasan jalan untuk as SADW dan TADW dengan berbagai variasi untuk semua lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23. Nilai lendutan-balik berdasarkan hasil regresi linier dengan alat LVDT untuk as SADW dan TADW

Lokasi	Persamaan	Nilai R <sup>2</sup>	SADW		TADW		
			Beban As Belakang	Nilai Lendutan	Beban As Tandem Belakang	Beban Per As Belakang	Nilai Lendutan
			(ton)	(mm)	(ton)	(ton)	(mm)
Akses 1	$Y = 0.0136 X - 0.0093$	0.8816	6.00	0.072	11.00	5.50	0.066
			8.16	0.102	13.76	6.88	0.084
			12.00	0.154	22.00	11.00	0.140
			16.00	0.208	30.00	15.00	0.195
Arteri 2	$Y = 0.0206 X - 0.0598$	0.9180	6.00	0.064	11.00	5.50	0.054
			8.16	0.108	13.76	6.88	0.082
			12.00	0.187	22.00	11.00	0.167
			16.00	0.270	30.00	15.00	0.249
Kolektor 1	$Y = 0.0327 X - 0.0439$	0.9906	6.00	0.152	11.00	5.50	0.136
			8.16	0.223	13.76	6.88	0.181
			12.00	0.349	22.00	11.00	0.316
			16.00	0.479	30.00	15.00	0.447
Kolektor 2	$Y = 0.0307 X - 0.0743$	0.8658	6.00	0.110	11.00	5.50	0.095
			8.16	0.176	13.76	6.88	0.137
			12.00	0.294	22.00	11.00	0.263
			16.00	0.417	30.00	15.00	0.386

## **4.2. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas (E) dan Regangan Vertikal ( $\epsilon_z$ ) Struktur Perkerasan Jalan**

Pada perhitungan modulus elastisitas (E) perkerasan jalan, asumsi dasar yang digunakan adalah bahwa perkerasan dianggap sebagai lapisan yang homogen, mempunyai sifat yang elastis (Boussinesq theory, 1885) dan nilai E yang didapat merupakan nilai E komposit dari suatu perkerasan jalan. Telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa besarnya nilai E dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.8. Perlu diterangkan di sini bahwa rumus elastis (Pers. 2.8) tersebut dengan anggapan harga E konstan, sedangkan pada kenyataan di lapangan hubungan antara tegangan vs regangan ( $\sigma$  vs  $\epsilon$ ) tidaklah linier dan harga E berubah-ubah dengan nilai  $\sigma$ , waktu dan juga kondisi tanah dibawah lapisan struktur perkerasan jalannya.

Diasumsikan bahwa beban roda kendaraan yang diterima perkerasan hampir sama dengan beban yang terjadi pada plat yang elastis dengan jari-jari  $a$  dan tekanan beban merata  $q$  (Huang, 2004), maka besarnya regangan vertikal yang terjadi akibat beban kendaraan yang diterima perkerasan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.5.

Berdasarkan persamaan di atas, data yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai Modulus Elastisitas (E) dan Regangan Vertikal ( $\epsilon_z$ ) antara lain nilai lendutan ( $d$ ), tekanan ban ( $q$ ) dan beban as kendaraan ( $p$ ). Tekanan ban yang akan digunakan dalam perhitungan nilai E dan  $\epsilon_z$  dibagi menjadi 2 skenario, yaitu :

1. Nilai tekanan ban ( $q$ ) sesuai dengan kondisi di lapangan (tekanan ban aktual)
2. Nilai tekanan ban ( $q$ ) disesuaikan dengan beban as kendaraan (penyesuaian tekanan ban).

### **4.2.1. Nilai Tekanan Ban ( $q$ ) Sesuai Dengan Kondisi di Lapangan (Tekanan Ban Aktual)**

Nilai tekanan ban ( $q$ ) aktual yang dimaksud adalah nilai tekanan ban aktual digunakan oleh para pengemudi ketika mengangkut beban/barang baik untuk beban standar maupun tidak standar (*overloaded*). Penggunaan tekanan ban aktual pada skenario ini hanya terjadi pada saat pengujian lendutan perkerasan jalan dengan menggunakan alat BB dan LVDT. Contoh perhitungan untuk mendapat nilai E dan



$\epsilon_z$  berdasarkan alat BB dengan jenis as TADW untuk ruas jalan Akses 1 adalah sebagai berikut :

- Jenis as kendaraan : TADW
- Beban as TADW : 13.76 ton (13760 kg)
- Tekanan ban (q) : 150 psi (10.56 kg/cm<sup>2</sup>)
- Nilai lendutan-balik (d) : 0.1766 mm (0.01766 cm)
- Poisson ratio ( $\mu$ ) : 0.40 (perkerasan jalan lentur)VB
- Beban per roda (p) :

$$= \frac{\text{Beban as kendaraan}}{\text{jumlah roda as TADW}} = \frac{13760}{2 * 4} = 1720 \text{ kg}$$

- Radius bidang kontak ban (a) :

$$= \sqrt{\frac{p}{\pi q}} = \sqrt{\frac{1720}{\pi * 10.56}} = 7.22 \text{ cm}$$

- Modulus elastisitas (E) :

$$= \frac{2(1 - \mu^2)qa}{d} = \frac{2(1 - 0.40^2) * 10.50 * 7.22}{0.01766} \approx 7214.5747 \text{ kg/cm}^2$$

- Regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) :

$$= \frac{(1 + \mu)q}{E} (1 - 2\mu) = \frac{(1 + 0.40) * 10.50}{7214.5747} (1 - 2 * 0.40) \approx 0.0004075084$$

Lebih detil perhitungan nilai E dan  $\epsilon_z$  berdasarkan data BB dan LVDT untuk masing-masing ruas jalan dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan 4.25.

Pada Tabel 4.24 dan 4.25 secara umum ditunjukkan bahwa pada perkerasan jalan yang mempunyai nilai lendutan kecil akan menghasilkan nilai E yang besar (kaku), dan dengan nilai E yang besar, hasil nilai regangan vertikal yang terjadi pada struktur perkerasan jalan adalah kecil, dan sebaliknya (lihat Persamaan 2.5 dan 2.8). Pada tabel tersebut juga terlihat, jalan yang mempunyai tebal struktur perkerasan yang cukup tebal, yaitu jalan Akses, menghasilkan nilai  $\epsilon_z$  lebih kecil daripada jalan Arteri dan Kolektor. Kondisi tersebut membuktikan bahwa semakin tebal struktur perkerasan jalan semakin kecil nilai  $\epsilon_z$  yang terjadi, dan sebaliknya.

Tabel 4.24. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan tekanan ban (q) aktual dengan alat BB jenis as TADW

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As TADW, p		Jumlah As Belakang	Jumlah Roda per As	Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	
		(ton)	(kg)			(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm2)		(cm)	(mm)				(cm)
TADW	Akses 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.1542	0.0154	0.40	7385.7733	0.0003980626	
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.1766	0.0177	0.40	7214.5747	0.0004075084	
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.2433	0.0243	0.40	7251.7672	0.0004865021	
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.3081	0.0308	0.40	6687.1883	0.0005275760	
	Arteri 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.1390	0.0139	0.40	8196.3745	0.0003586952	
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.1799	0.0180	0.40	7079.0529	0.0004153098	
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.3023	0.0302	0.40	5836.4372	0.0006044784	
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.4211	0.0421	0.40	4892.7160	0.0007210719	
	Kolektor 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.3131	0.0313	0.40	3637.4520	0.0008082581	
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.3774	0.0377	0.40	3375.0648	0.0008710944	
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.5694	0.0569	0.40	3098.6213	0.0011385709	
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.7558	0.0756	0.40	2726.0158	0.0012941965	
	Kolektor 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.2994	0.0299	0.40	3803.8952	0.0007728919	
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.3979	0.0398	0.40	3200.9903	0.0009184658	
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.6921	0.0692	0.40	2549.2775	0.0013839215	
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.9777	0.0978	0.40	2107.3159	0.0016741676	

Tabel 4.25. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan tekanan ban (q) aktual dengan alat LVDT jenis as SADW

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW, p		Jumlah As Belakang	Jumlah Roda per As	Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$
		(ton)	(kg)			(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )		(cm)	(mm)			
SADW	Akses 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.0723	0.0072	0.40	14715.7134	0.0001598292
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.1017	0.0102	0.40	9963.7997	0.0001573697
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.1539	0.0154	0.40	11636.6999	0.0002863355
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.2083	0.0208	0.40	9927.6979	0.0003356267
	Arteri 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.0638	0.0064	0.40	16676.2708	0.0001410387
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.1083	0.0108	0.40	9354.7250	0.0001676158
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.1874	0.0187	0.40	9556.5001	0.0003486632
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.2698	0.0270	0.40	7664.7126	0.0004347195
	Kolektor 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.1523	0.0152	0.40	6985.8574	0.0003366802
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.2229	0.0223	0.40	4544.3422	0.0003450444
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.3485	0.0349	0.40	5138.8468	0.0006483945
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.4793	0.0479	0.40	4314.4992	0.0007722797
	Kolektor 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.1099	0.0110	0.40	9681.0380	0.0002429492
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.1762	0.0176	0.40	5749.2072	0.0002727333
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.2941	0.0294	0.40	6089.3849	0.0005471817
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.4169	0.0417	0.40	4960.2770	0.0006717367

Dari Tabel 4.24 terlihat bahwa besarnya nilai E dan  $\epsilon_z$  untuk jenis as TADW dipengaruhi oleh dampak kenaikan beban as kendaraan terhadap peningkatan nilai lendutan perkerasan jalan. Pada tabel tersebut juga diketahui peningkatan beban, dari beban standar (13.76 ton) ke beban overloaded (22 ton) sebesar 1.60 ( $=22/13.76$ ), dan beban standar (13.76 ton) ke beban sangat overloaded (30 ton) sebesar 2.18 ( $=30/13.76$ ), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.37 dan 1.58.

Untuk jenis as SADW, dari Tabel 4.25 terlihat bahwa peningkatan beban, dari beban standar (8.16 ton) ke beban overloaded (12 ton) sebesar 1.47 ( $=12/8.16$ ), dan beban standar (8.16 ton) ke beban sangat overloaded (16 ton) sebesar 1.96

(=16/8.16), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.95 dan 2.36.

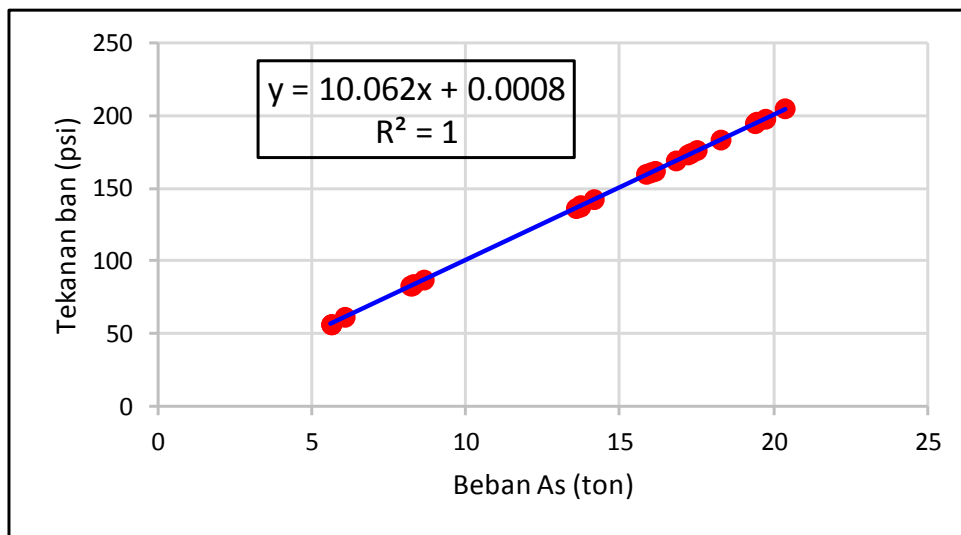
Hasil ulasan di atas menginformasikan bahwa jumlah as kendaraan juga mampu menurunkan regangan vertikal yang terjadi pada perkerasan jalan. Dengan demikian dapat disimpulkan, salah cara untuk mengurangi dampak dari kendaraan berat yang *overloaded* dengan tekanan ban yang tinggi terhadap struktur perkerasan jalan adalah dengan memperbanyak jumlah as kendaraan.

#### **4.2.2. Nilai Tekanan Ban (q) Disesuaikan Dengan Beban As Kendaraan (Penyesuaian Tekanan Ban)**

Isitilah penyesuaian tekanan ban (q) yang dimaksud pada penelitian ini adalah nilai tekanan ban yang digunakan disesuaikan dengan besarnya barang/beban yang diangkut. Pendekatan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tekanan ban yang disesuaikan adalah dengan menggunakan data hasil pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD. Salah satu output dari pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD adalah stress atau tegangan yang diidentik dengan nilai tekanan ban kendaraan dengan beban as tertentu.

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, pengujian lendutan dengan alat FWD tidak hanya terhadap beban standar (8.16 ton), namun pengujian lendutan juga dilakukan terhadap beban dibawah standar, beban *overloaded* dan beban sangat *overloaded*. Hasil pengujian seperti yang disajikan pada Tabel 4.3. Data-data tersebut selanjutnya akan digunakan untuk mencari hubungan antara beban as kendaraan dengan nilai tekanan ban.

Untuk mendapatkan nilai tekanan ban sesuai dengan variasi beban pada Tabel 3.4, analisis regresi adalah salah satu cara untuk dapat menentukan sejauh mana hubungan antara beban as kendaraan dengan nilai tekanan ban yang digunakan. Pada proses analisis regresi, data beban as dijadikan sebagai variabel bebas (x) dan nilai tekanan ban sebagai variabel tak bebas (y). Hasil analisis regresi (linier) terhadap data beban as dengan nilai tekanan ban dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik hubungan antara beban as versus tekanan ban

Dari Gambar 4.10 terlihat hasil analisis regresi linier menunjukkan suatu korelasi yang sangat bagus ( $R^2 = 1$ ) antara nilai hasil model dengan data pengujian. Persamaan dari hasil analisis regresi tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung nilai tekanan ban berdasarkan pada beban as yang diangkut, dalam hal ini nilai penyesuaian tekanan ban ( $q$ ), yaitu dengan cara memasukkan data variasi bebas as kendaraan (Tabel 4.3) ke dalam persamaan yang tercantum pada Gambar 4.10. Hasil perhitungan nilai tekanan ban yang telah disesuaikan dengan variasi beban dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26. Nilai tekanan ban yang telah disesuaikan dengan variasi pembebanan pada pengujian lendutan-balik perkerasan jalan

Jenis as SADW		Jenis as TADW		
Beban per as (ton)	Tekanan ban (psi)	Beban grup as (ton)	Beban per as (ton)	Tekanan ban (psi)
6.00	60.373	11.00	5.50	55.342
8.16	82.107	13.76	6.88	69.227
12.00	120.745	22.00	11.00	110.683
16.00	160.993	30.00	15.00	150.931

Setelah diketahui nilai tekanan ban yang telah disesuaikan dengan variasi pembebanan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai  $E$  dan  $\varepsilon_z$  dengan menggunakan data-data yang tercantum pada Tabel 4.5 dan 4.26. Contoh

perhitungan secara umum hampir sama dengan pada Sub-bab 4.3.1, yang membedakan hanya terletak pada nilai tekanan ban ( $q$ ) yang digunakan dalam perhitungan seperti yang tercantum pada Tabel 4.26.

Dengan asumsi bahwa nilai penyesuaian tekanan ban dapat dicari berdasarkan persamaan yang tertera pada Gambar 4.10 yang selanjutnya disajikan pada Tabel 4.26 dan data nilai lendutan perkerasan jalan untuk masing-masing alat (Tabel 4.5, 4.16 dan 4.23), maka pada skenario ini akan dapat dicari nilai modulus elastisitas ( $E$ ) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) untuk berbagai jenis alat (FWD, BB dan LVDT) dan jenis as (SADW dan TADW). Lebih detil tentang hasil perhitungan nilai modulus elastisitas ( $E$ ) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.27 – 4.29.

Tabel 4.27. Nilai modulus elastisitas ( $E$ ) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan nilai penyesuaian tekanan ban ( $q$ ) dengan alat FWD untuk jenis as SADW dan TADW

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW/TADW, $p$		Jumlah As Belakang	Jumlah Roda per As	Beban per Roda, $p$		Tegangan / Tekanan Ban, $q$		Radius Kontak Ban, $a$	Nilai Lendutan, $d$		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, $E$	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$
		(ton)	(kg)			(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )		(mm)	(cm)			
SADW	Akses 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0821	0.0082	0.40	9191.9255	0.0001287333
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1059	0.0106	0.40	9695.1808	0.0001659888
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1481	0.0148	0.40	10191.1490	0.0002322209
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.1921	0.0192	0.40	10475.8488	0.0003012127
	Arteri 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.2023	0.0202	0.40	3730.3860	0.0003172076
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2595	0.0260	0.40	3954.4264	0.0004069596
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3613	0.0361	0.40	4177.4403	0.0005665187
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4673	0.0467	0.40	4306.4639	0.0007327262
	Kolektor 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.2963	0.0296	0.40	2546.9358	0.0004646002
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.3611	0.0361	0.40	2842.2372	0.0005662060
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.4763	0.0476	0.40	3168.8204	0.0007468388
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.5963	0.0596	0.40	3374.8290	0.0009349981
	Kolektor 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3749	0.0375	0.40	2012.9557	0.0005878455
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4451	0.0445	0.40	2305.8455	0.0006979183
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.5699	0.0570	0.40	2648.3755	0.0008936037
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.6999	0.0700	0.40	2875.2830	0.0010974429
TADW	Akses 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0766	0.0077	0.40	9030.9323	0.0001201093
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0918	0.0092	0.40	9428.4091	0.0001439115
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1371	0.0137	0.40	10091.4210	0.0002149730
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.1811	0.0181	0.40	10417.6434	0.0002839648
	Arteri 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1891	0.0189	0.40	3659.1876	0.0002964317
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.2256	0.0226	0.40	3835.3842	0.0003537732
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3348	0.0335	0.40	4132.4188	0.0005249668
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4408	0.0441	0.40	4280.0254	0.0006911743
	Kolektor 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.2813	0.0281	0.40	2459.1874	0.0004410804
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3227	0.0323	0.40	2681.5599	0.0005059951
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.4463	0.0446	0.40	3100.0086	0.0006979900
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.5663	0.0566	0.40	3331.5119	0.0008879583
	Kolektor 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.3587	0.0359	0.40	1928.8148	0.0005623657
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.4035	0.0404	0.40	2144.5834	0.0006326899
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.5374	0.0537	0.40	2574.4954	0.0008426439
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.6674	0.0667	0.40	2826.8433	0.0010464831

Tabel 4.28. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan nilai penyesuaian tekanan ban (q) dengan alat BB untuk jenis as SADW dan TADW

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW / TADW, p		Jumlah As Belakang	Jumlah Roda per As	Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$
		(ton)	(kg)			(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )		(mm)	(cm)			
SADW	Akses 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1623	0.0162	0.40	4649.7664	0.0002544874
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1973	0.0197	0.40	5202.0956	0.0003093545
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.2595	0.0260	0.40	5816.2203	0.0004068962
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.3243	0.0324	0.40	6205.3980	0.0005085023
	Arteri 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1538	0.0154	0.40	4906.7431	0.0002411593
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2180	0.0218	0.40	4708.9810	0.0003417495
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3320	0.0332	0.40	4546.1120	0.0005205763
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4508	0.0451	0.40	4464.0873	0.0007068542
	Kolektor 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3364	0.0336	0.40	2243.3326	0.0005274772
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4371	0.0437	0.40	2348.2845	0.0006853053
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.6160	0.0616	0.40	2450.1772	0.0009658885
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.8024	0.0802	0.40	2507.9892	0.0012581628
	Kolektor 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3351	0.0335	0.40	2252.0355	0.0005254388
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4893	0.0489	0.40	2097.4484	0.0007672616
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.7635	0.0764	0.40	1976.8293	0.0011971687
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	1.0491	0.1049	0.40	1918.2257	0.0016449883
TADW	Akses 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1542	0.0154	0.40	4486.1830	0.0002417867
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1766	0.0177	0.40	4901.2177	0.0002768406
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.2433	0.0243	0.40	5686.5344	0.0003814947
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.3081	0.0308	0.40	6123.4509	0.0004831007
	Arteri 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1390	0.0139	0.40	4978.5492	0.0002178746
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1799	0.0180	0.40	4809.1510	0.0002821405
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3023	0.0302	0.40	4576.6914	0.0004740068
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4211	0.0421	0.40	4480.2546	0.0006602847
	Kolektor 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.3131	0.0313	0.40	2209.4200	0.0004909430
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3774	0.0377	0.40	2292.8486	0.0005917775
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.5694	0.0569	0.40	2429.8100	0.0008928200
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.7558	0.0756	0.40	2496.2096	0.0011850943
	Kolektor 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.2994	0.0299	0.40	2310.5191	0.0004694613
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3979	0.0398	0.40	2174.5911	0.0006239593
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.6921	0.0692	0.40	1999.0375	0.0010852137
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.9777	0.0978	0.40	1929.6668	0.0015330334

Tabel 4.29. Nilai modulus elastisitas (E) dan regangan verikal ( $\epsilon_z$ ) perkerasan jalan berdasarkan tekanan ban (q) standar dengan alat LVDT untuk jenis as SADW dan TADW

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW / TADW, p		Jumlah As Belakang	Jumlah Roda per Grup As	Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$
		(ton)	(kg)			(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )		(mm)	(cm)			
SADW	Akses 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0723	0.0072	0.40	10437.8573	0.0001133668
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1017	0.0102	0.40	10094.1406	0.0001594283
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1539	0.0154	0.40	9807.0771	0.0002413153
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.2083	0.0208	0.40	9661.1165	0.0003266143
	Arteri 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0638	0.0064	0.40	11828.4810	0.0001000388
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1083	0.0108	0.40	9477.0983	0.0001698085
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1874	0.0187	0.40	8053.9443	0.0002938434
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.2698	0.0270	0.40	7458.8976	0.0004230463
	Kolektor 1	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1523	0.0152	0.40	4955.0695	0.0002388073
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2229	0.0223	0.40	4603.7888	0.0003495581
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3485	0.0349	0.40	4330.8728	0.0005464483
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4793	0.0479	0.40	4198.6450	0.0007515422
	Kolektor 2	6.00	6000	1	4	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1099	0.0110	0.40	6866.7615	0.0001723239
		8.16	8160	1	4	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1762	0.0176	0.40	5824.4151	0.0002763010
		12.00	12000	1	4	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.2941	0.0294	0.40	5131.9591	0.0004611491
		16.00	16000	1	4	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4169	0.0417	0.40	4827.0822	0.0006536990
TADW	Akses 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0655	0.0066	0.40	10561.3651	0.0001027045
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0843	0.0084	0.40	10268.8968	0.0001321326
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1403	0.0140	0.40	9861.2532	0.0002199906
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.1947	0.0195	0.40	9689.9600	0.0003052896
	Arteri 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0535	0.0054	0.40	12930.2694	0.0000838884
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0819	0.0082	0.40	10562.1935	0.0001284635
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1668	0.0167	0.40	8294.5673	0.0002615426
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.2492	0.0249	0.40	7570.7673	0.0003907456
	Kolektor 1	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1360	0.0136	0.40	5088.4105	0.0002131706
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1811	0.0181	0.40	4778.8740	0.0002839280
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3158	0.0316	0.40	4381.0444	0.0004951748
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4466	0.0447	0.40	4224.4407	0.0007002687
	Kolektor 2	11.00	11000	2	4	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0946	0.0095	0.40	7316.4401	0.0001482551
		13.76	13760	2	4	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1369	0.0137	0.40	6320.2211	0.0002146849
		22.00	22000	2	4	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.2634	0.0263	0.40	5252.5961	0.0004130116
		30.00	30000	2	4	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.3862	0.0386	0.40	4885.1248	0.0006055615

Hasil perhitungan yang diberikan pada Tabel 4.27, 4.28 dan 4.29 terlihat adanya suatu informasi yang perlu diperhatikan, yaitu peningkatan nilai lendutan yang terjadi akibat penambahan beban as berdampak pada peningkatan nilai E. Mengacu pada Persamaan 2.8, idealnya semakin besar nilai lendutan semakin kecil nilai kekakuan E suatu struktur perkerasan jalan.

Pada Persamaan 2.8 terlihat besarnya nilai E tergantung pada besarnya nilai poisson ratio ( $\mu$ ), tekanan ban ( $q$ ), radius bidang kontak ban ( $a$ ), dan nilai lendutan ( $d$ ). Besarnya nilai  $\mu$  adalah konstan karena ditentukan oleh jenis material perkerasan jalan, dan nilai  $a$  ditentukan oleh besarnya beban ( $p$ ) dan tekanan ban ( $q$ ). Pada skenario ini, nilai tekanan ban ( $q$ ) yang digunakan adalah nilai tekanan ban yang disesuaikan dengan beban as kendaraan yang diangkut, dampaknya nilai radius bidang kontak ban ( $a$ ) yang dihasilkan adalah sama untuk berbagai variasi beban as kendaraan. Dengan demikian, besarnya nilai kekakuan ( $E$ ) struktur perkerasan hanya tergantung pada besarnya nilai nilai lendutan ( $d$ ) akibat beban as kendaraan.

Setelah diteliti lebih detil terhadap perhitungan nilai E (lihat Tabel 4.27 – 4.29), akhirnya diketahui penyebab terjadinya peningkatan nilai lendutan juga akan meningkatkan nilai E pada perkerasan jalan. Penyebabnya adalah besarnya nilai peningkatan lendutan akibat beban as kendaraan menghasilkan nilai lendutan yang lebih kecil (atau sama) daripada nilai peningkatan variasi beban as kendaraan. Sebaliknya, nilai E akan mengecil jika nilai peningkatan lendutan akibat beban as kendaraan menghasilkan nilai lendutan yang lebih besar daripada nilai peningkatan variasi beban as kendaraan, sesuai dengan kaidah yang tercantum pada Persamaan 2.8.

Berdasarkan hasil kajian terhadap nilai E seperti yang telah diuraikan di atas, dampak lanjutannya adalah ketika menghitung nilai regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) yang terjadi pada perkerasan jalan akibat beban as kendaraan. Pada tabel tersebut juga terlihat bahwa jalan yang mempunyai tebal struktur perkerasan yang cukup tebal (jalan Akses) menghasilkan nilai  $\epsilon_z$  lebih kecil daripada jalan Arteri dan Kolektor. Semakin tebal struktur perkerasan jalan semakin kecil nilai  $\epsilon_z$  yang terjadi, dan sebaliknya.

Dari Tabel 4.27 terlihat bahwa besarnya nilai  $E$  dan  $\varepsilon_z$  untuk jenis as SADW dengan alat FWD dipengaruhi oleh dampak kenaikan beban as kendaraan terhadap peningkatan nilai lendutan perkerasan jalan. Pada tabel tersebut juga diketahui peningkatan beban, dari beban standar (8.16 ton) ke beban overloaded (12 ton) sebesar 1.47 ( $=12/8.16$ ), dan beban standar (8.16 ton) ke beban sangat overloaded (16 ton) sebesar 1.96 ( $=16/8.16$ ), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.35 dan 1.71. Sedangkan untuk as TADW, dari beban standar (13.76 ton) ke beban overloaded (22 ton) sebesar 1.60 ( $=22/13.76$ ), dan beban standar (13.76 ton) ke beban sangat overloaded (30 ton) sebesar 2.18 ( $=30/13.76$ ), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.42 dan 1.83.

Dari Tabel 4.28 diketahui besarnya nilai  $E$  dan  $\varepsilon_z$  untuk jenis as SADW dengan alat BB dari beban standar (8.16 ton) ke beban overloaded (12 ton) sebesar 1.47 ( $=12/8.16$ ), dan beban standar (8.16 ton) ke beban sangat overloaded (16 ton) sebesar 1.96 ( $=16/8.16$ ), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.45 dan 1.92. Sedangkan untuk as TADW, dari beban standar (13.76 ton) ke beban overloaded (22 ton) sebesar 1.60 ( $=22/13.76$ ), dan beban standar (13.76 ton) ke beban sangat overloaded (30 ton) sebesar 2.18 ( $=30/13.76$ ), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.58 dan 2.14.

Dari Tabel 4.29 ditunjukkan besarnya nilai  $E$  dan  $\varepsilon_z$  untuk jenis as SADW dengan alat BB dari beban standar (8.16 ton) ke beban overloaded (12 ton) sebesar 1.47 ( $=12/8.16$ ), dan beban standar (8.16 ton) ke beban sangat overloaded (16 ton) sebesar 1.96 ( $=16/8.16$ ), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.62 dan 2.26. Sedangkan untuk as TADW, dari beban standar (13.76 ton) ke beban overloaded (22 ton) sebesar 1.60 ( $=22/13.76$ ), dan beban standar (13.76 ton) ke beban sangat overloaded (30 ton) sebesar 2.18 ( $=30/13.76$ ), berdampak pada terjadinya peningkatan nilai regangan vertikal rata-rata sebesar 1.84 dan 2.66.



#### 4.3. Perhitungan Nilai Equivalent Axle Load (EAL)

Pemahaman terhadap nilai EAL adalah banyaknya lintasan yang dapat dilakukan oleh suatu beban tertentu yang mempunyai efek merusak (*damage factor*,  $DF$ ) struktur perkerasan jalan yang sama dengan efek merusak akibat beban standar melewati struktur perkerasan jalan. Nilai EAL seringkali disebut juga dengan nilai *damage factor* ( $DF$ ). Dalam perhitungan nilai EAL, diasumsikan struktur perkerasan dianggap suatu lapisan perkerasan yang elastis dan homogen pada seluruh lapisan perkerasan.

Bila  $N_{fs}$  adalah banyaknya lintasan beban as standar melintasi suatu perkerasan jalan sampai menimbulkan kerusakan dan  $N_{fj}$  adalah banyaknya lintasan beban as tertentu (tidak standar) melintasi suatu perkerasan jalan sampai menimbulkan kerusakan, maka besarnya nilai EAL adalah perbandingan antara nilai  $N_{fs}$  dengan  $N_{fj}$  (lihat Persamaan 2.30). Perlu disampaikan di sini bahwa perhitungan banyaknya lintasan ( $N_f$ ) didasarkan pada pendekatan teori deformasi permanen. Dalam teori tersebut disebutkan bahwa nilai regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) yang terjadi pada struktur perkerasan akibat beban roda kendaraan adalah salah satu faktor utama yang berpengaruh terhadap besar-kecilnya nilai  $N_f$ . Besarnya nilai  $N_f$  untuk beban as standar ( $N_{fs}$ ) dan beban as standar tertentu ( $N_{fj}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.9. Perhitungan nilai EAL akan dibagi menjadi 4 skenario, yaitu :

1. Perhitungan nilai EAL berdasarkan tekanan ban ( $q$ ) aktual
2. Perhitungan nilai EAL berdasarkan penyesuaian tekanan ban ( $q$ ) terhadap beban as kendaraan.
3. Perhitungan nilai EAL berdasarkan nilai  $E$  konstan (karena dianggap untuk titik pada perkerasan dan jalan sama).

##### 4.3.1. Perhitungan Nilai EAL Berdasarkan Tekanan Ban ( $q$ ) Aktual

Perhitungan nilai EAL yang akan disajikan didasarkan pada jenis alat yang digunakan untuk uji lendutan-balik perkerasan jalan di lapangan. Detil perhitungan nilai EAL adalah sebagai berikut :

### 1. Nilai Equivalent Axle Load (EAL) dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual

Berdasarkan nilai regangan vertikal dan jumlah lintas pada persamaan tersebut di atas, besarnya nilai EAL akan dapat diketahui. Nilai EAL yang didapat akan bervariasi sebagaimana variasi pebebanan as kendaraan. Jenis as yang digunakan untuk pengujian lendutan perkerasan jalan dengan alat BB adalah jenis as TADW. Nilai pangkat (b)eban standar as TADW yang digunakan merujuk pada Bina Marga (2005) yaitu sebesar 13.76 ton. Ilustrasi contoh perhitungan EAL untuk as TADW dengan alat BB pada lokasi jalan Akses 1 adalah sebagai berikut :

#### **Contoh 1 (melanjutkan contoh perhitungan E dan $\epsilon_z$ dengan alat BB)**

- Jenis as kendaraan : TADW
- Beban as TADW : 13.76 ton (13760 kg) → beban standar as TADW
- Tekanan ban (q) : 150 psi (10.56 kg/cm<sup>2</sup>)
- Nilai lendutan-balik (d) : 0.1766 mm (0.01766 cm)
- Poisson ratio ( $\mu$ ) : 0.40 (perkerasan jalan lentur)
- Beban per roda (p) :  
$$= \frac{\text{Beban as kendaraan}}{\text{jumlah roda as TADW}} = \frac{13760}{2 * 4} = 1720 \text{ kg}$$
- Radius bidang kontak ban (a) :  
$$= \sqrt{\frac{p}{\pi q}} = \sqrt{\frac{1720}{\pi * 10.56}} = 7.22 \text{ cm}$$
- Modulus elastisitas (E) :  
$$= \frac{2(1 - \mu^2)qa}{d} = \frac{2(1 - 0.40^2) * 10.50 * 7.22}{0.01766} \approx 7214.5747 \text{ kg/cm}^2$$
- Regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) :  
$$= \frac{(1 + \mu)q}{E}(1 - 2\mu) = \frac{(1 + 0.40) * 10.50}{7214.5747}(1 - 2 * 0.40) \approx 0.0004075084$$
- Jumlah lintasan dengan beban as standar ( $N_{fs} = N_{fj}$ ) :  
$$= (1.365 * 10^{-9}) * (\epsilon_z)^{-4.477} = (1.365 * 10^{-9}) * (0.0004075084)^{-4.477}$$
$$= 2.0490 * 10^6$$

- Nilai EAL :

$$= \frac{N_{fs}}{N_{fj}} = \frac{2.0490 * 10^6}{2.0490 * 10^6} = 1$$

### **Contoh 2**

- Beban as kendaraan : 30 ton (30000 kg) → beban *overloaded*  
 ➤ Tekanan ban (q) : 180 psi (12.60 kg/cm<sup>2</sup>)  
 ➤ Nilai lendutan-balik (d) : 0.3081 mm (0.03081 cm)  
 ➤ Poisson ratio (μ) : 0.40 (perkerasan jalan lentur)  
 ➤ Beban per roda (p) :

$$= \frac{\text{Beban as kendaraan}}{\text{jumlah roda as TADW}} = \frac{30000}{2 * 4} = 3750 \text{ kg}$$

- Radius bidang kontak ban (a) :

$$= \sqrt{\frac{p}{\pi q}} = \sqrt{\frac{3750}{\pi * 12.60}} = 9.73 \text{ cm}$$

- Modulus elastisitas (E) :

$$= \frac{2(1 - \mu^2)qa}{d} = \frac{2(1 - 0.40^2) * 12.60 * 9.73}{0.03081} \approx 6687.1883 \text{ kg/cm}^2$$

- Regangan vertikal (ε<sub>z</sub>) :

$$= \frac{(1 + \mu)q}{E} (1 - 2\mu) = \frac{(1 + 0.40) * 12.60}{6687.1883} (1 - 2 * 0.40) \approx 0.0005275760$$

- Jumlah lintasan dengan beban as standar (N<sub>fj</sub>) :

$$= (1.365 * 10^{-9}) * (\epsilon_z)^{-4.477} = (1.365 * 10^{-9}) * (0.0005275760)^{-4.477} \\ = 6.4486 * 10^5$$

- Nilai EAL :

$$= \frac{N_{fs}}{N_{fj}} = \frac{2.0490 * 10^6}{6.4486 * 10^5} = 3.17752167$$

Detil hasil perhitungan nilai EAL untuk jenis as TADW dengan berbagai variasi beban dan lokasi dapat dilihat pada Tabel 4.30. Untuk memberikan ilustrasi terhadap hasil perhitungan pada tabel tersebut perlu dibuatkan suatu grafik hubungan antara nilai P<sub>aktual</sub>/P<sub>standar</sub> dengan nilai EAL. Mengingat bentuk persamaan

EAL adalah merupakan bentuk persamaan power, maka jenis analisis regresi yang digunakan adalah regresi non-linier (bentuk persamaan power). Bentuk persamaan EAL adalah :

$$EAL = aX^b, \text{ dimana :}$$

$$X = \frac{P_{\text{aktual}}}{P_{\text{standar}}}$$

$P_{\text{aktual}}$  : beban as aktual yang diangkut

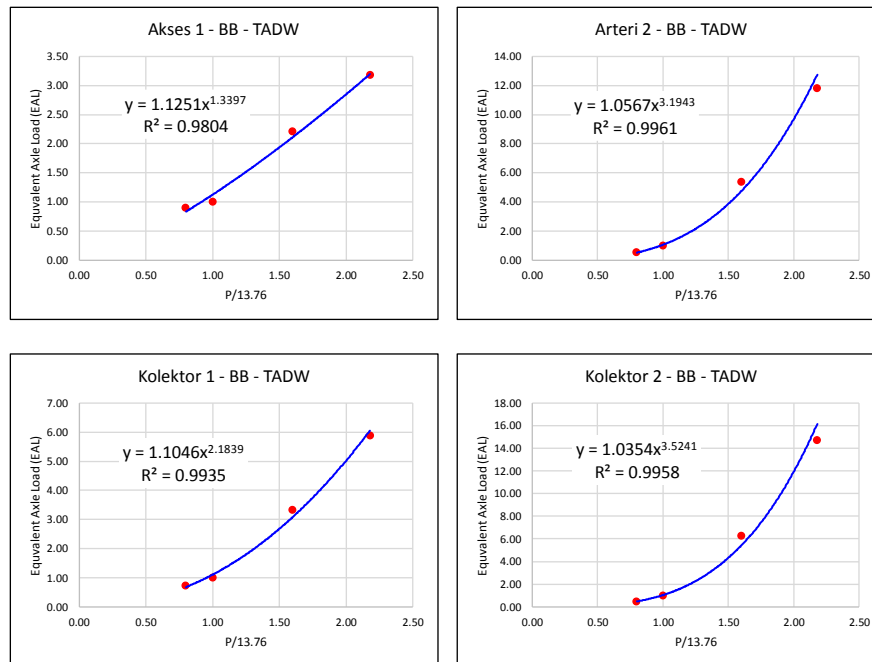
$P_{\text{standar}}$  : beban as standar (8.16 ton as SADW, dan 13.76 ton as TADW berdasarkan Bina Marga, 2005)

a dan b : variabel korelasi regresi.

Berdasarkan Tabel 4.30, ilustrasi tentang hubungan antara nilai perbandingan  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  dengan nilai EAL dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Tabel 4.30. Nilai EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As TADW, p		Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, Nfs; Nfj	$P_{\text{axle}}$ 13. 76	Equivalent Axle Load (EAL) atau Damage Factor, DF
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )		(cm)	(mm)	(cm)					
TADW	Akses 1	11.00	11000	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.1542	0.0154	0.40	7385.7733	0.0003980626	2.2759E+06	0.80	0.90032791
		13.76	13760	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.1766	0.0177	0.40	7214.5747	0.0004075084	2.0490E+06	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.2433	0.0243	0.40	7251.7672	0.0004865021	9.2695E+05	1.60	2.21053180
		30.00	30000	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.3081	0.0308	0.40	6687.1883	0.0005275760	6.4486E+05	2.18	3.17752167
	Arteri 2	11.00	11000	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.1390	0.0139	0.40	8196.3745	0.0003586952	3.6277E+06	0.80	0.51886456
		13.76	13760	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.1799	0.0180	0.40	7079.0529	0.0004153098	1.8823E+06	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.3023	0.0302	0.40	5836.4372	0.0006044784	3.5066E+05	1.60	5.36771482
		30.00	30000	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.4211	0.0421	0.40	4892.7160	0.0007210719	1.5921E+05	2.18	11.82273126
	Kolektor 1	11.00	11000	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.3131	0.0313	0.40	3637.4520	0.0008082581	9.5506E+04	0.80	0.71520350
		13.76	13760	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.3774	0.0377	0.40	3375.0648	0.0008710944	6.8306E+04	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.5694	0.0569	0.40	3098.6213	0.0011385709	2.0597E+04	1.60	3.31628687
		30.00	30000	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.7558	0.0756	0.40	2726.0158	0.0012941965	1.1607E+04	2.18	5.88508836
	Kolektor 2	11.00	11000	1.38	1375	150.00	10.50	6.46	0.2994	0.0299	0.40	3803.8952	0.0007728919	1.1669E+05	0.80	0.46182224
		13.76	13760	1.72	1720	150.00	10.50	7.22	0.3979	0.0398	0.40	3200.9903	0.0009184658	5.3889E+04	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	180.00	12.60	8.34	0.6921	0.0692	0.40	2549.2775	0.0013839215	8.5976E+03	1.60	6.26791450
		30.00	30000	3.75	3750	180.00	12.60	9.73	0.9777	0.0978	0.40	2107.3159	0.0016741676	3.6659E+03	2.18	14.69991782



Gambar 4.11. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual

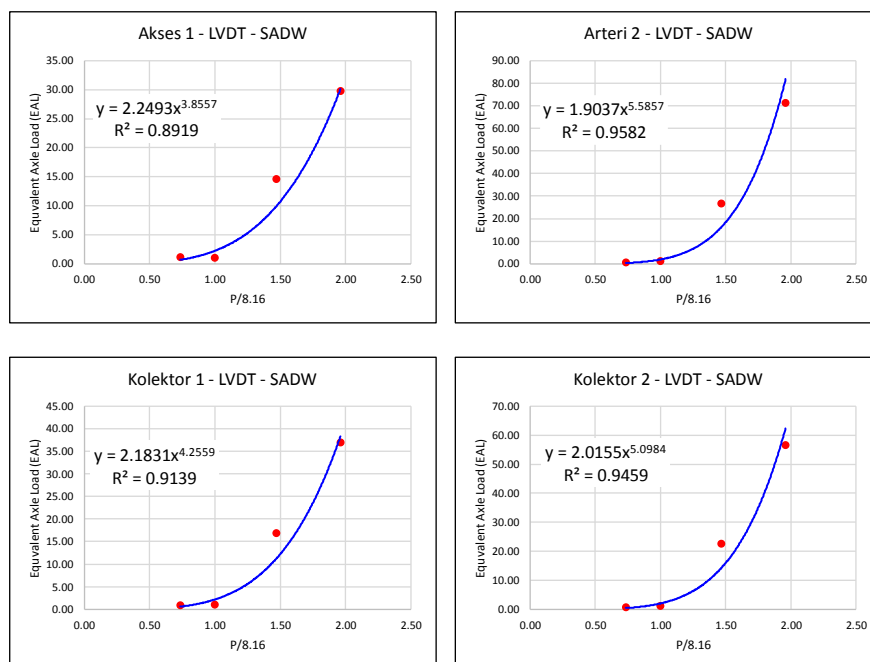
Berdasarkan hasil analisis regresi pada Gambar 4.11 terlihat bahwa nilai korelasi  $R^2$  rata-rata adalah lebih besar 0.9 atau mendekati 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa adanya kecocokan yang cukup baik antara nilai EAL hasil model regresi dengan perhitungan.

## 2. Nilai Equivalent Axle Load (EAL) dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual

Pada prinsipnya cara perhitungan nilai EAL dengan alat LVDT adalah sama dengan perhitungan nilai EAL dengan alat BB. Perbedaan hanya terletak pada variasi beban as SADW yang digunakan saat pengujian lendutan di lapangan. Hasil perhitungan nilai EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT dapat dilihat pada Tabel 4.31, dan hasil analisis regresi power untuk SADW dengan alat BB dapat dilihat pada Gambar 4.12. Pada gambar tersebut ditunjukkan nilai korelasi  $R^2$  rata-rata yang cukup bagus adalah lebih besar 0.9 atau mendekati 1.

Tabel 4.31. Nilai EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW, p		Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a		Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, Nfs; Nfj	$P_{axle}$ 8.16	Avalent Axle Load (EAL) atau Damage Factor, DF
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm2)	(cm)	(mm)	(cm)	(cm)						
SADW	Akses 1	6.00	6000	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.0723	0.0072	0.40	14715.7134	0.0001598292	1.3532E+08	0.74	1.07189507	
		8.16	8160	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.1017	0.0102	0.40	9963.7997	0.0001573697	1.4505E+08	1.00	1.00000000	
		12.00	12000	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.1539	0.0154	0.40	11636.6999	0.0002863355	9.9472E+06	1.47	14.58191173	
		16.00	16000	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.2083	0.0208	0.40	9927.6979	0.0003356267	4.8851E+06	1.96	29.69228796	
	Arteri 2	6.00	6000	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.0638	0.0064	0.40	16676.2708	0.0001410387	2.3689E+08	0.74	0.46166773	
		8.16	8160	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.1083	0.0108	0.40	9354.7250	0.0001676158	1.0936E+08	1.00	1.00000000	
		12.00	12000	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.1874	0.0187	0.40	9556.5001	0.0003486632	4.1189E+06	1.47	26.55179148	
		16.00	16000	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.2698	0.0270	0.40	7664.7126	0.0004347195	1.5342E+06	1.96	71.28592955	
	Kolektor 1	6.00	6000	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.1523	0.0152	0.40	6985.8574	0.0003366802	4.8170E+06	0.74	0.89595605	
		8.16	8160	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.2229	0.0223	0.40	4544.3422	0.0003450444	4.3158E+06	1.00	1.00000000	
		12.00	12000	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.3485	0.0349	0.40	5138.8468	0.0006483945	2.5617E+05	1.47	16.84760389	
		16.00	16000	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.4793	0.0479	0.40	4314.4992	0.0007722797	1.1710E+05	1.96	36.85533675	
	Kolektor 2	6.00	6000	1.50	1500	120	8.40	7.54	0.1099	0.0110	0.40	9681.0380	0.0002429492	2.0758E+07	0.74	0.59587196	
		8.16	8160	2.04	2040	80	5.60	10.77	0.1762	0.0176	0.40	5749.2072	0.0002727333	1.2369E+07	1.00	1.00000000	
		12.00	12000	3.00	3000	170	11.90	8.96	0.2941	0.0294	0.40	6089.3849	0.0005471817	5.4767E+05	1.47	22.58476388	
		16.00	16000	4.00	4000	170	11.90	10.34	0.4169	0.0417	0.40	4960.2770	0.0006717367	2.1866E+05	1.96	56.56799194	



Gambar 4.12. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual

#### 4.3.2. Perhitungan Nilai EAL Berdasarkan Penyesuaian Tekanan Ban (q) Terhadap Beban as Kendaraan

Cara perhitungan nilai dan persamaan EAL berdasarkan tekanan ban yang disesuaikan dengan beban as kendaraan (penyesuaian tekanan ban) adalah sama dengan cara perhitungan nilai EAL yang didasarkan pada tekanan ban aktual. Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya bahwa hasil yang didapat dari perhitungan nilai E dan  $\epsilon_z$  berdasarkan penyesuaian tekanan ban adalah untuk

jenis as SADW dan TADW. Seperti halnya pada perhitungan EAL sebelumnya, perhitungan akan dibedakan berdasarkan jenis alat yang digunakan saat uji lendutan perkerasan jalan di lapangan. Detil perhitungan nilai EAL adalah sebagai berikut :

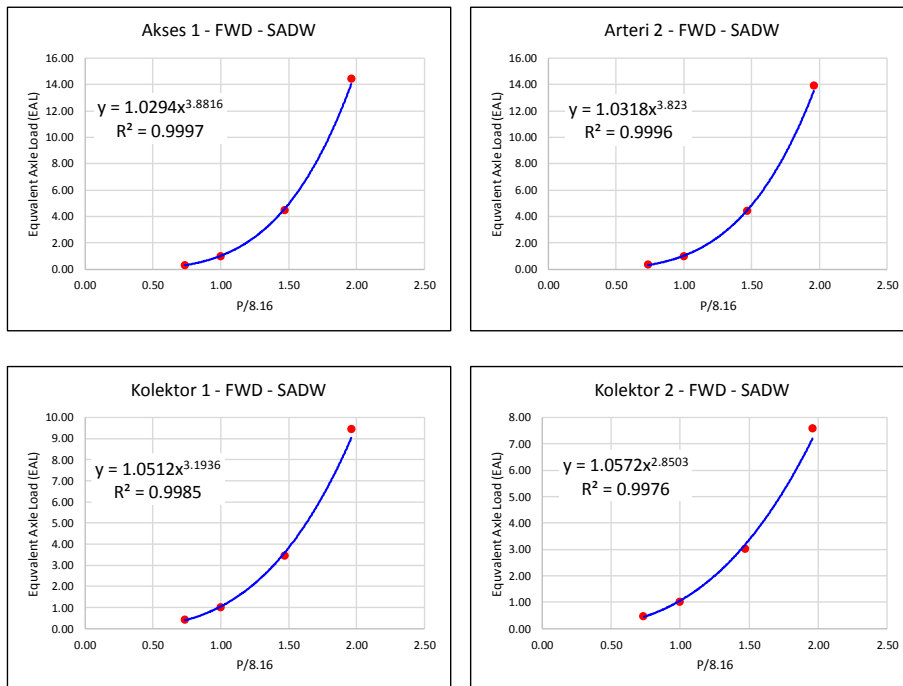
### 1. Nilai Equivalent Axle Load (EAL) dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Secara detil cara perhitungan nilai EAL adalah sama dengan contoh perhitungan EAL dengan alat BB. Perbedaan terletak pada variasi beban as SADW dan TADW, nilai lendutan, dan tekanan ban (besarnya nilai tekanan ban disesuaikan dengan beban as kendaraan). Hasil perhitungan nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD dapat dilihat pada Tabel 4.32. Sedangkan hasil analisis regresi power untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14.

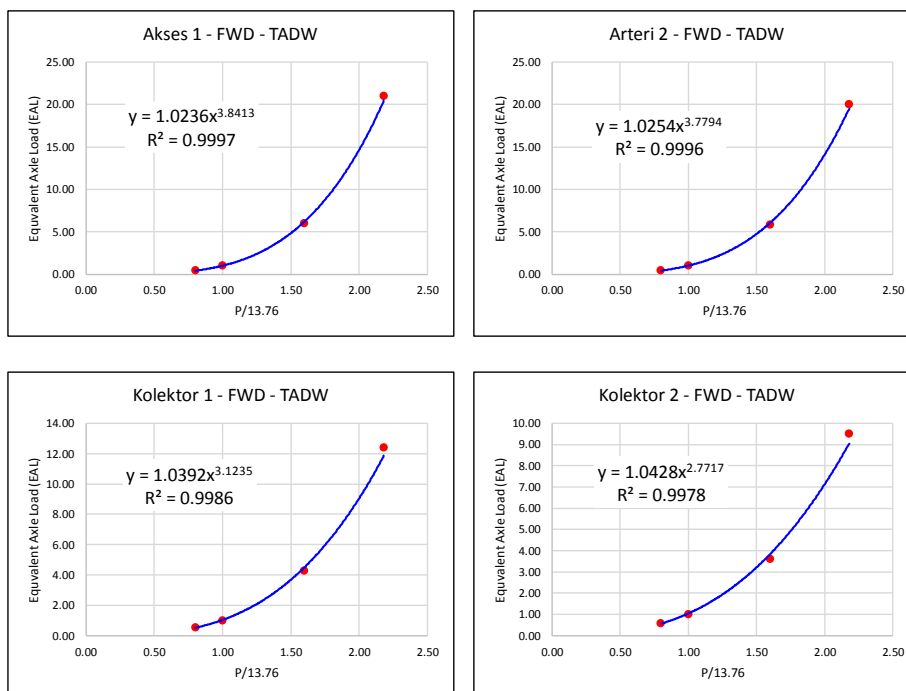
Berdasarkan hasil analisis regresi pada Gambar 4.13 dan 4.14 terlihat bahwa nilai korelasi  $R^2$  rata-rata adalah lebih besar 0.9 atau mendekati 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa adanya kecocokan yang cukup baik antara nilai EAL hasil model regresi dengan perhitungan.

Tabel 4.32. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW/ TADW, p		Beban per Roda, p		Tegangan / Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, $N_{fs}; N_{fj}$	$\frac{P_{axle}}{8.16}$ $\frac{P_{axle}}{13.76}$	Equivalent Axle Load (EAL) atau Damage Factor, DF
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )		(mm)	(cm)						
SADW	Akses 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0821	0.0082	0.40	9191.9255	0.0001287333	3.5649E+08	0.74	0.32047419
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1059	0.0106	0.40	9695.1808	0.0001659888	1.1425E+08	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1481	0.0148	0.40	10191.1490	0.0002322209	2.5409E+07	1.47	4.49621734
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.1921	0.0192	0.40	10475.8488	0.0003012127	7.9290E+06	1.96	14.40863039
	Arteri 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.2023	0.0202	0.40	3730.3860	0.0003172076	6.2895E+06	0.74	0.32775877
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2595	0.0260	0.40	3954.4264	0.0004069596	2.0614E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3613	0.0361	0.40	4177.4403	0.0005665187	4.6881E+05	1.47	4.39722998
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4673	0.0467	0.40	4306.4639	0.0007327262	1.4818E+05	1.96	13.91179014
	Kolektor 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.2963	0.0296	0.40	2546.9358	0.0004646002	1.1392E+06	0.74	0.41252260
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.3611	0.0361	0.40	2842.2372	0.0005662060	4.6997E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.4763	0.0476	0.40	3168.8204	0.0007468388	1.3605E+05	1.47	3.45437965
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.5963	0.0596	0.40	3374.8290	0.0009349981	4.9752E+04	1.96	9.44611099
	Kolektor 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3749	0.0375	0.40	2012.9557	0.0005878455	3.9732E+05	0.74	0.46374388
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4451	0.0445	0.40	2305.8455	0.0006979183	1.8426E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.5699	0.0570	0.40	2648.3755	0.0008936037	6.0934E+04	1.47	3.02386854
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.6999	0.0700	0.40	2875.2830	0.0010974429	2.4285E+04	1.96	7.58711823
TADW	Akses 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0766	0.0077	0.40	9030.9323	0.0001201093	4.8626E+08	0.80	0.44511475
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0918	0.0092	0.40	9428.4091	0.0001439115	2.1644E+08	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1371	0.0137	0.40	10091.4210	0.0002149730	3.5896E+07	1.60	6.02961305
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.1811	0.0181	0.40	10417.6434	0.0002839648	1.0324E+07	2.18	20.96388581
	Arteri 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1891	0.0189	0.40	3659.1876	0.0002964317	8.5178E+06	0.80	0.45306982
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.2256	0.0226	0.40	3835.3842	0.0003537732	3.8591E+06	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3348	0.0335	0.40	4132.4188	0.0005249668	6.5933E+05	1.60	5.85313790
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4408	0.0441	0.40	4280.0254	0.0006911743	1.9244E+05	2.18	20.05358420
	Kolektor 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.2813	0.0281	0.40	2459.1874	0.0004410804	1.4376E+06	0.80	0.54807854
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3227	0.0323	0.40	2681.5599	0.0005059951	7.7744E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.4463	0.0446	0.40	3100.0086	0.0006997990	1.8205E+05	1.60	4.27053609
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.5663	0.0566	0.40	3331.5119	0.0008879583	6.2687E+04	2.18	12.40196230
	Kolektor 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.3587	0.0359	0.40	1928.8148	0.0005623657	4.8451E+05	0.80	0.59006876
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.4035	0.0404	0.40	2144.5834	0.0006326899	2.8589E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.5374	0.0537	0.40	2574.4954	0.0008426439	7.9255E+04	1.60	3.60725547
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.6674	0.0667	0.40	2826.8433	0.0010464831	3.0046E+04	2.18	9.51501378



Gambar 4.13. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban



Gambar 4.14. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban



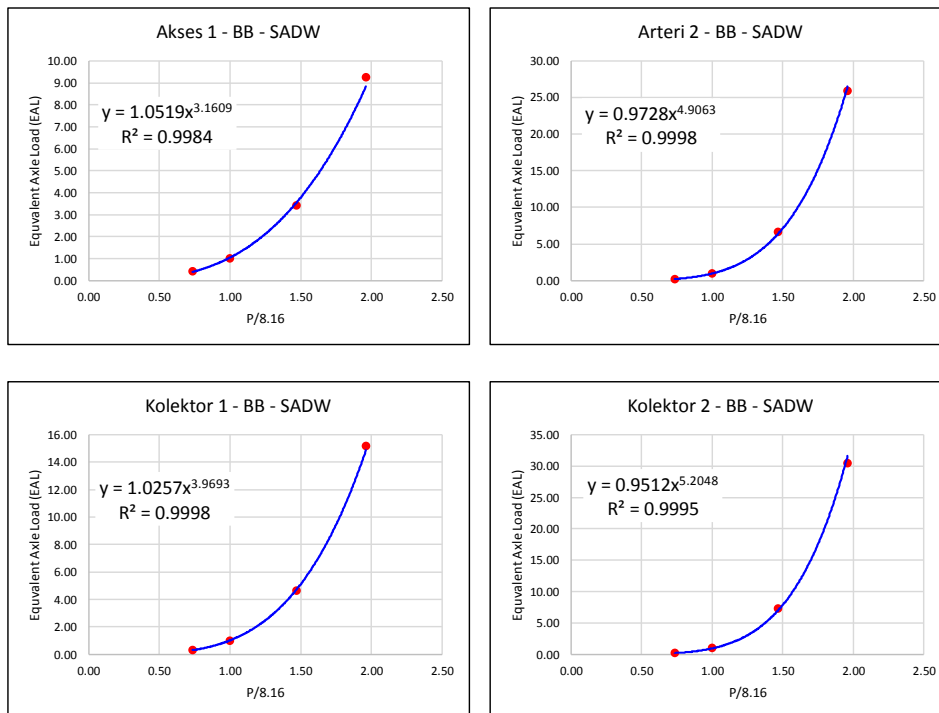
## 2. Nilai Equivalent Axle Load (EAL) dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Pada dasarnya cara perhitungan nilai EAL adalah sama dengan contoh perhitungan EAL dengan alat BB. Perbedaan terletak pada variasi beban as SADW dan TADW, nilai lendutan dan tekanan ban (besarnya sesuai dengan beban as kendaraan). Hasil perhitungan nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat BB dapat dilihat pada Tabel 4.33. Sedangkan hasil analisa regresi power untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16.

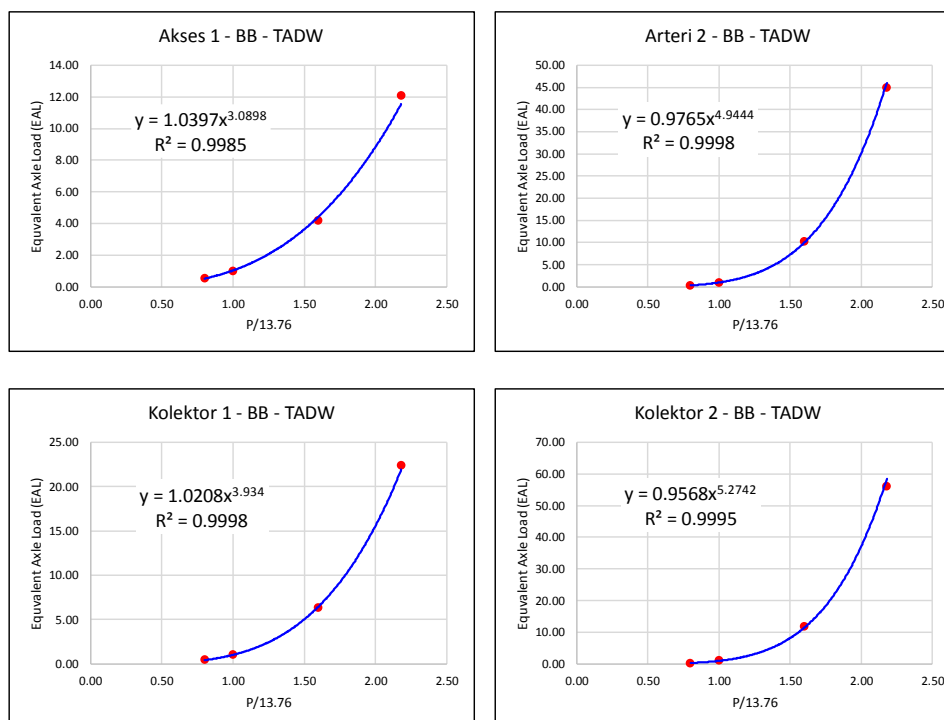
Berdasarkan hasil analisis regresi pada Gambar 4.15 dan 4.16 terlihat bahwa nilai korelasi  $R^2$  rata-rata adalah lebih besar 0.9 atau mendekati 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa adanya kecocokan yang cukup baik antara nilai EAL hasil model regresi dengan perhitungan.

Tabel 4.33. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW / TADW, p		Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d	Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, Nfs; Nfj	$\frac{P_{axle}}{8.16}$ $\frac{P_{axle}}{13.76}$	Equivalent Axle Load (EAL) at Damage Factor DF	
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm2)									(cm)
SADW	Akses 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1623	0.0162	0.40	4649.7664	0.0002544874	1.6864E+07	0.74	0.41724804
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1973	0.0197	0.40	5202.0956	0.0003093545	7.0365E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.2595	0.0260	0.40	5816.2203	0.0004068962	2.0629E+06	1.47	3.41102434
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.3243	0.0324	0.40	6205.3980	0.0005085023	7.6043E+05	1.96	9.25336571
	Arteri 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1538	0.0154	0.40	4906.7431	0.0002411593	2.1456E+07	0.74	0.20997392
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2180	0.0218	0.40	4708.9810	0.0003417495	4.5053E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3320	0.0332	0.40	4546.1120	0.0005205763	6.8459E+05	1.47	6.58098053
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4508	0.0451	0.40	4464.0873	0.0007068542	1.7405E+05	1.96	25.88449807
	Kolektor 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3364	0.0336	0.40	2243.3326	0.0005274772	6.4540E+05	0.74	0.30977982
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4371	0.0437	0.40	2348.2845	0.0006853053	1.9993E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.6160	0.0616	0.40	2450.1772	0.0009658885	4.3014E+04	1.47	4.64799102
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.8024	0.0802	0.40	2507.9892	0.0012581628	1.3171E+04	1.96	15.17990209
	Kolektor 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3351	0.0335	0.40	2252.0355	0.0005254388	6.5668E+05	0.74	0.18360551
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4893	0.0489	0.40	2097.4484	0.0007672616	1.2057E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.7635	0.0764	0.40	1976.8293	0.0011971687	1.6452E+04	1.47	7.32840461
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	1.0491	0.1049	0.40	1918.2257	0.0016449883	3.9662E+03	1.96	30.39967595
TADW	Akses 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1542	0.0154	0.40	4486.1830	0.0002417867	2.1208E+07	0.80	0.54546099
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1766	0.0177	0.40	4901.2177	0.0002768406	1.1568E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.2433	0.0243	0.40	5686.5344	0.0003814947	2.7530E+06	1.60	4.20204933
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.3081	0.0308	0.40	6123.4509	0.0004831007	9.5652E+05	2.18	12.09410638
	Arteri 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1390	0.0139	0.40	4978.5492	0.0002178746	3.3805E+07	0.80	0.31435255
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1799	0.0180	0.40	4809.1510	0.0002821405	1.0627E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3023	0.0302	0.40	4576.6914	0.0004740068	1.0415E+06	1.60	10.20360914
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4211	0.0421	0.40	4480.2546	0.0006602847	2.3615E+05	2.18	44.99902266
	Kolektor 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.3131	0.0313	0.40	2209.4200	0.0004909430	8.8999E+05	0.80	0.43330391
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3774	0.0377	0.40	2292.8486	0.0005917775	3.8564E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.5694	0.0569	0.40	2429.8100	0.0008928200	6.1173E+04	1.60	6.30400386
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.7558	0.0756	0.40	2496.2096	0.0011850943	1.7216E+04	2.18	22.39949625
	Kolektor 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.2994	0.0299	0.40	2310.5191	0.0004694613	1.0874E+06	0.80	0.27979363
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3979	0.0398	0.40	2174.5911	0.0006239593	3.0424E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.6921	0.0692	0.40	1999.0375	0.0010852137	2.5535E+04	1.60	11.91481883
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.9777	0.0978	0.40	1929.6668	0.0015330334	5.4377E+03	2.18	55.95001025



Gambar 4.15. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban



Gambar 4.16. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban

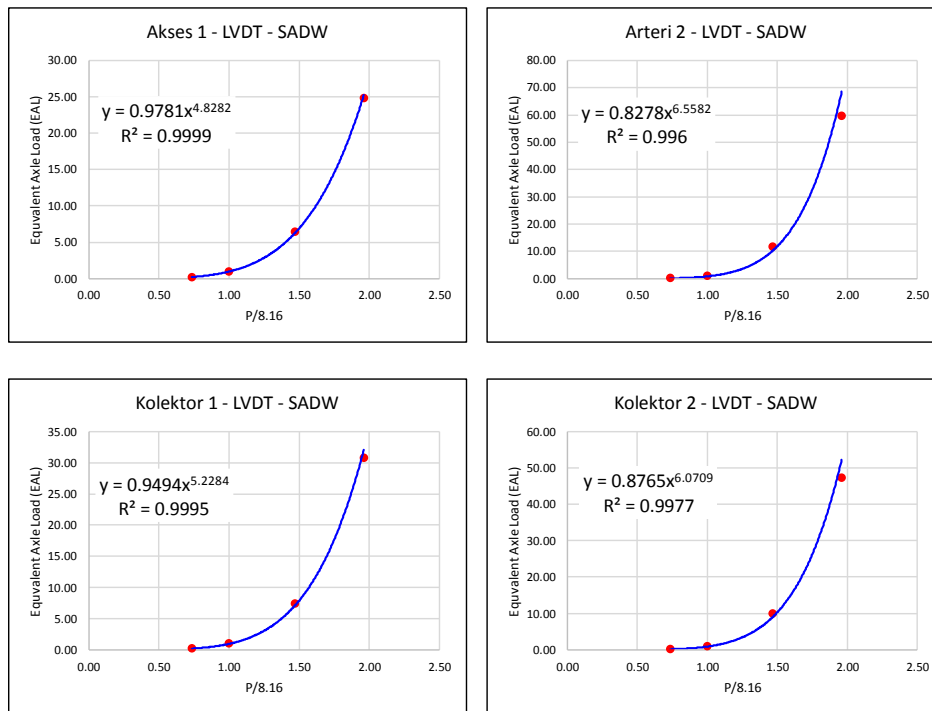
### 3. Nilai Equivalent Axle Load (EAL) dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Pada dasarnya cara perhitungan nilai EAL adalah sama dengan contoh perhitungan EAL dengan alat BB. Perbedaan terletak pada variasi beban as SADW dan TADW, nilai lendutan dan tekanan ban (besarnya sesuai dengan beban as kendaraan). Hasil perhitungan nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat LVDT dapat dilihat pada Tabel 4.34. Sedangkan hasil analisa regresi power untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan 4.18.

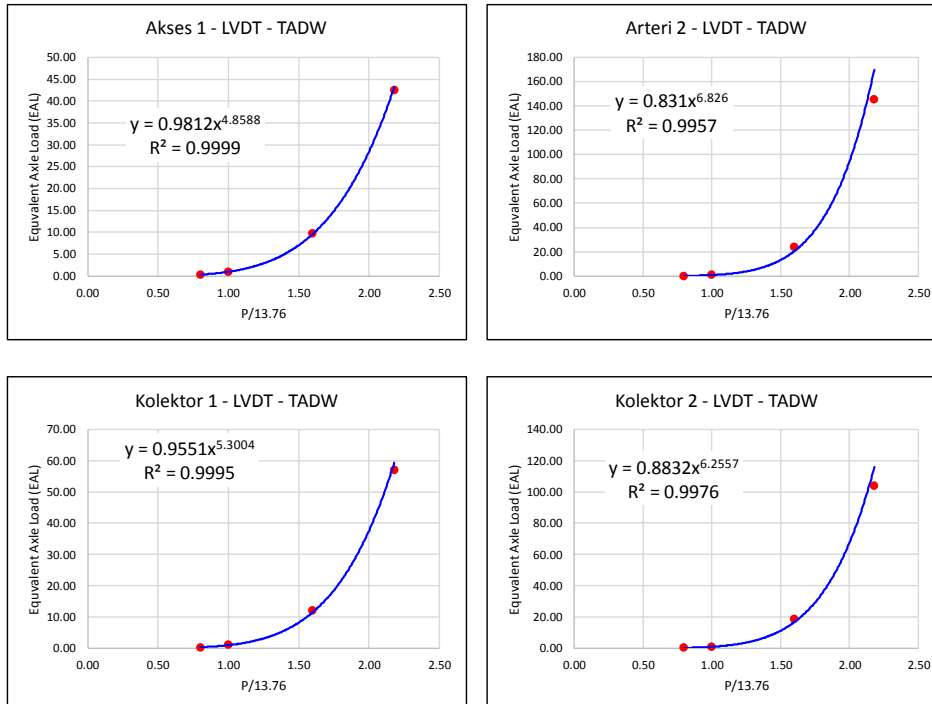
Berdasarkan hasil analisis regresi pada Gambar 4.17 dan 4.18 terlihat bahwa nilai korelasi  $R^2$  rata-rata adalah lebih besar 0.9 atau mendekati 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa adanya kecocokan yang cukup baik antara nilai EAL hasil model regresi dengan perhitungan.

Tabel 4.34. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW / TADW, p		Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, $N_f$ ; $N_j$	$\frac{P_{axle}}{8.16}$ / $\frac{P_{axle}}{13.76}$	Equivalent Axle Load (EAL) atau Damage Factor, DF
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm)	(mm)	(cm)						
SADW	Akses 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0723	0.0072	0.40	10437.8573	0.0001133668	6.2979E+08	0.74	0.21729441
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1017	0.0102	0.40	10094.1406	0.0001594283	1.3685E+08	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1539	0.0154	0.40	9807.0771	0.0002413153	2.1394E+07	1.47	6.39657149
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.2083	0.0208	0.40	9661.1165	0.0003266143	5.5182E+06	1.96	24.79991592
	Arteri 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0638	0.0064	0.40	11828.4810	0.0001000388	1.1025E+09	0.74	0.09358921
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1083	0.0108	0.40	9477.0983	0.0001698085	1.0318E+08	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1874	0.0187	0.40	8053.9443	0.0002938434	8.8589E+06	1.47	11.64733648
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.2698	0.0270	0.40	7458.8976	0.0004230463	1.7330E+06	1.96	59.54020997
	Kolektor 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1523	0.0152	0.40	4955.0695	0.0002388073	2.2419E+07	0.74	0.18162808
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2229	0.0223	0.40	4603.7888	0.0003495581	4.0719E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3485	0.0349	0.40	4330.8728	0.0005464483	5.5097E+05	1.47	7.39045090
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4793	0.0479	0.40	4198.6450	0.0007515422	1.3228E+05	1.96	30.78271550
	Kolektor 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1099	0.0110	0.40	6866.7615	0.0001723239	9.6608E+07	0.74	0.12079508
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1762	0.0176	0.40	5824.4151	0.0002763010	1.1670E+07	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.2941	0.0294	0.40	5131.9591	0.0004611491	1.1779E+06	1.47	9.90714108
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4169	0.0417	0.40	4827.0822	0.0006536990	2.4699E+05	1.96	47.24733392
TADW	Akses 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0655	0.0066	0.40	10561.3651	0.0001027045	9.8005E+08	0.80	0.32368552
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0843	0.0084	0.40	10268.8968	0.0001321326	3.1723E+08	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1403	0.0140	0.40	9861.2532	0.0002199906	3.2373E+07	1.60	9.79898601
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.1947	0.0195	0.40	9689.9600	0.0003052896	7.4658E+06	2.18	42.49065594
	Arteri 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0535	0.0054	0.40	12930.2694	0.0000838884	2.4250E+09	0.80	0.14839049
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0819	0.0082	0.40	10562.1935	0.0001284635	3.5985E+08	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1668	0.0167	0.40	8294.5673	0.0002615426	1.4921E+07	1.60	24.11741999
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.2492	0.0249	0.40	7570.7673	0.0003907456	2.4730E+06	2.18	145.51335011
	Kolektor 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1360	0.0136	0.40	5088.4105	0.0002131706	3.7275E+07	0.80	0.27713944
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1811	0.0181	0.40	4778.8740	0.0002839280	1.0330E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3158	0.0316	0.40	4381.0444	0.0004951748	8.5644E+05	1.60	12.06203721
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4466	0.0447	0.40	4224.4407	0.0007002687	1.8150E+05	2.18	56.91631934
	Kolektor 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0946	0.0095	0.40	7316.4401	0.0001462551	1.8946E+08	0.80	0.19060489
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1369	0.0137	0.40	6320.2211	0.0002146849	3.6112E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.2634	0.0263	0.40	5252.5961	0.0004130116	1.9296E+06	1.60	18.71488366
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.3862	0.0386	0.40	4885.1248	0.0006055615	3.4786E+05	2.18	103.81186254



Gambar 4.17. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban



Gambar 4.18. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban

#### **4.3.3. Perhitungan Nilai EAL Berdasarkan Nilai E Konstan**

Cara perhitungan EAL yang didasarkan pada E konstan pada prinsipnya adalah sama dengan perhitungan EAL seperti yang telah dibahas pada Sub-bab 4.3.1 dan 4.3.2. Pengertian dengan nilai E konstan adalah nilai E yang didapat dari beban as standar, yaitu 8.16 ton untuk as SADW dan 13.76 ton untuk as TADW. Nilai E tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai EAL untuk semua variasi pembebanan as kendaraan.

Pada perhitungan nilai E sebelumnya, nilai E hasil perhitungan untuk beban standar dan jenis as SADW dan TADW dapat dilihat pada Tabel 4.32, 4.33 dan 4.34. Rangkuman nilai E konstan berdasarkan alat FWD, BB dan LVDT dapat dilihat pada Tabel 4.35. Sedangkan hasil perhitungan EAL yang didasarkan pada nilai E konstan dapat dilihat pada Tabel 4.36 sampai dengan 4.38 dan Gambar 4.19 sampai dengan 4.24.

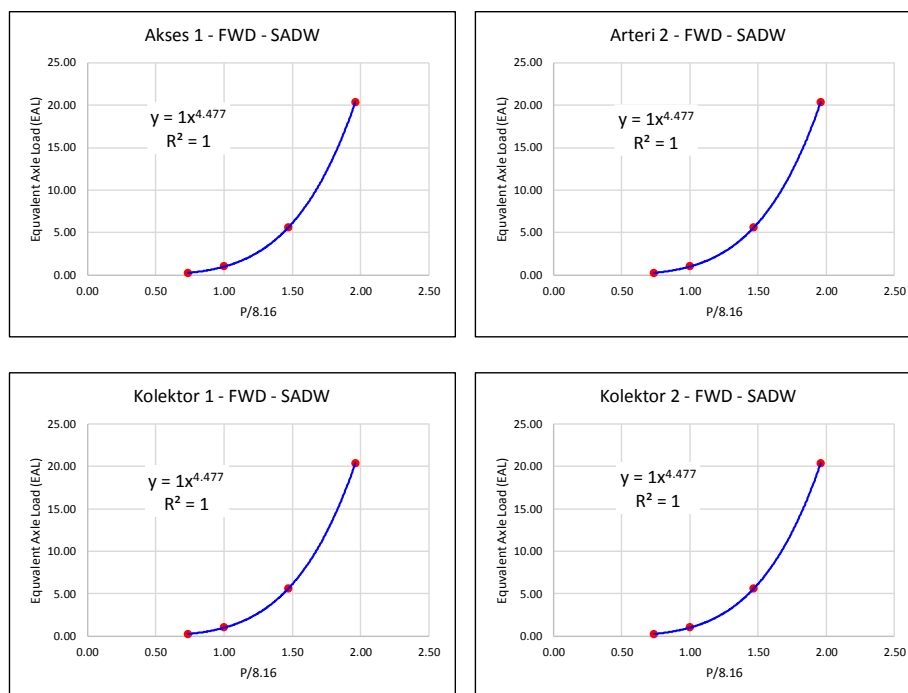
Jika dicermati nilai EAL yang tertera pada Tabel 4.42 sampai dengan 4.44 terlihat bahwa nilai EAL untuk semua jenis as dan jenis alat mempunyai tren nilai yang sama. Variasi beban dan nilai lendutan-balik tidak berpengaruh terhadap nilai EAL hasil perhitungan. Pada Persamaan 2.5 disebutkan data-data yang digunakan untuk menghitung nilai regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) adalah nilai poisson ratio ( $\mu$ ), modulus elastisitas E dan tekanan ban ( $q$ ). Jika E yang digunakan dalam perhitungan menggunakan nilai E konstan dan nilai poisson ratio ( $\mu$ ) juga konstan, perhitungan nilai regangan vertikal ( $\epsilon_z$ ) hanya akan dipengaruhi oleh beban as kendaraan ( $p$ ) dan nilai tekanan ban ( $q$ ). Mengingat varias beban as dan tekanan ban adalah sama untuk semua lokasi, maka nilai EAL yang dihasilkan untuk semua jenis alat, jenis as dan semua lokasi adalah sama. Hal tersebut seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.19 sampai dengan 4.24.

Tabel 4.35. Rangkuman nilai E konstan berdasarkan alat LVDT, FWD dan BB, dan tekanan ban standar untuk jenis as SADW dan TADW

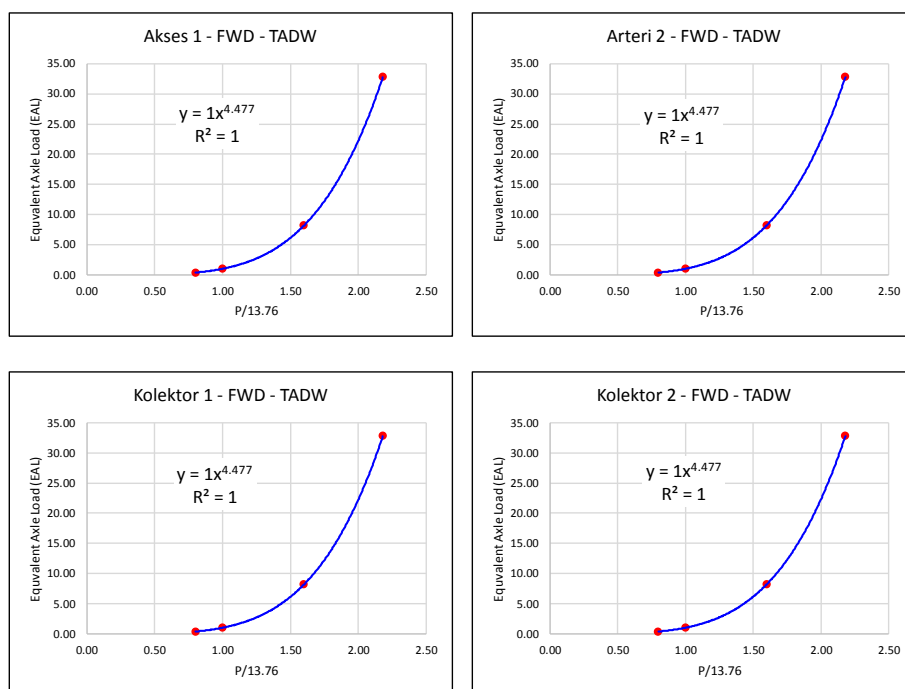
Jenis Alat	Jenis As	Beban as SADW / TADW, p (ton)	Beban per as, p (ton)	Tekanan ban, q (psi)	Nama Jalan	Nilai Lendutan (mm)	Modulus Elastisitas, E (kg/cm2)
FWD	SADW	8.16	8.16	82.11	Akses 1	0.1059	9695.180770
					Arteri 2	0.2595	3954.426433
					Kolektor 1	0.3611	2842.237154
					Kolektor 2	0.4451	2305.845510
	TADW	13.76	6.88	69.23	Akses 1	0.0918	9428.409146
					Arteri 2	0.2256	3835.384237
					Kolektor 1	0.3227	2681.559936
					Kolektor 2	0.4035	2144.583374
BB	SADW	8.16	8.16	82.11	Akses 1	0.1973	5202.095556
					Arteri 2	0.2180	4708.981043
					Kolektor 1	0.4371	2348.284514
					Kolektor 2	0.4893	2097.448391
	TADW	13.76	6.88	69.23	Akses 1	0.1766	4901.217695
					Arteri 2	0.1799	4809.150984
					Kolektor 1	0.3774	2292.848566
					Kolektor 2	0.3979	2174.591115
LVDT	SADW	8.16	8.16	82.11	Akses 1	0.1017	10094.140568
					Arteri 2	0.1083	9477.098290
					Kolektor 1	0.2229	4603.788762
					Kolektor 2	0.1762	5824.415116
	TADW	13.76	6.88	69.23	Akses 1	0.0843	10268.896751
					Arteri 2	0.0819	10562.193529
					Kolektor 1	0.1811	4778.874017
					Kolektor 2	0.1369	6320.221095

Tabel 4.36. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW / TADW, p		Beban per Roda, p		Tegangan / Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E (kg/cm2)	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, Nfs; Nfj	$\frac{P_{axle}}{8.16}$ $\frac{P_{axle}}{13.76}$	Equivalent Axle Load (EAL) atau Damage Factor, DF
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm2)	(cm)	(mm)	(cm)						
SADW	Akses 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0821	0.0082	0.40	9695.1808	0.0001220510	4.5257E+08	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1059	0.0106	0.40	9695.1808	0.0001659888	1.1425E+08	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1481	0.0148	0.40	9695.1808	0.0002441005	2.0323E+07	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.1921	0.0192	0.40	9695.1808	0.0003254667	5.6058E+06	1.96	20.37975876
	Arteri 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.2023	0.0202	0.40	3954.4264	0.0002992360	8.1662E+06	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2595	0.0260	0.40	3954.4264	0.0004069596	2.0614E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3613	0.0361	0.40	3954.4264	0.0005984681	3.6671E+05	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4673	0.0467	0.40	3954.4264	0.0007979561	1.0115E+05	1.96	20.37975876
	Kolektor 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.2963	0.0296	0.40	2842.2372	0.0004163294	1.8617E+06	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.3611	0.0361	0.40	2842.2372	0.0005662060	4.6997E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.4763	0.0476	0.40	2842.2372	0.0008326533	8.3602E+04	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.5963	0.0596	0.40	2842.2372	0.0011102025	2.3060E+04	1.96	20.37975876
	Kolektor 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3749	0.0375	0.40	2305.8455	0.0005131770	7.2991E+05	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4451	0.0445	0.40	2305.8455	0.0006979183	1.8426E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.5699	0.0570	0.40	2305.8455	0.0010263472	3.2777E+04	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.6999	0.0700	0.40	2305.8455	0.0013684607	9.0411E+03	1.96	20.37975876
TADW	Akses 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0766	0.0077	0.40	9428.4091	0.0001150458	5.8968E+08	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0918	0.0092	0.40	9428.4091	0.0001439115	2.1644E+08	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1371	0.0137	0.40	9428.4091	0.0002300900	2.6480E+07	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.1811	0.0181	0.40	9428.4091	0.0003137585	6.6050E+06	2.18	32.76913409
	Arteri 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1891	0.0189	0.40	3835.3842	0.0002828137	1.0514E+07	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.2256	0.0226	0.40	3835.3842	0.0003537732	3.8591E+06	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3348	0.0335	0.40	3835.3842	0.0005656233	4.7214E+05	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4408	0.0441	0.40	3835.3842	0.0007713031	1.1777E+05	2.18	32.76913409
	Kolektor 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.2813	0.0281	0.40	2681.5599	0.0004045031	2.1181E+06	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3227	0.0323	0.40	2681.5599	0.0005059951	7.7744E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.4463	0.0446	0.40	2681.5599	0.0008090003	9.5114E+04	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.5663	0.0566	0.40	2681.5599	0.0011031801	2.3725E+04	2.18	32.76913409
	Kolektor 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.3587	0.0359	0.40	2144.5834	0.0005057855	7.7889E+05	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.4035	0.0404	0.40	2144.5834	0.0006326899	2.8589E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.5374	0.0537	0.40	2144.5834	0.0010115638	3.4977E+04	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.6674	0.0667	0.40	2144.5834	0.0013794025	8.7244E+03	2.18	32.76913409



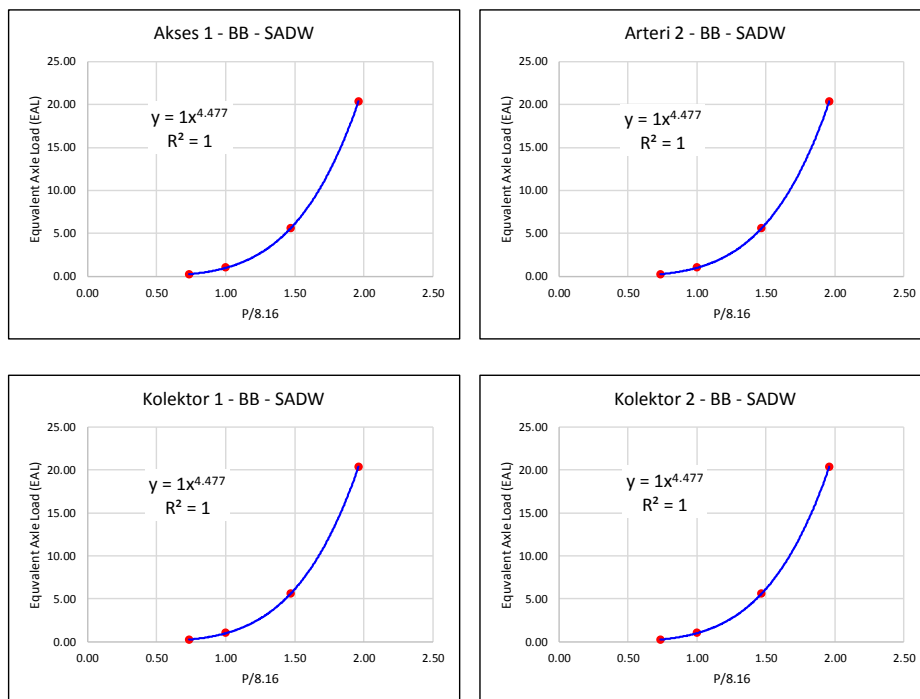
Gambar 4.19. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan



Gambar 4.20. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat FWD berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan

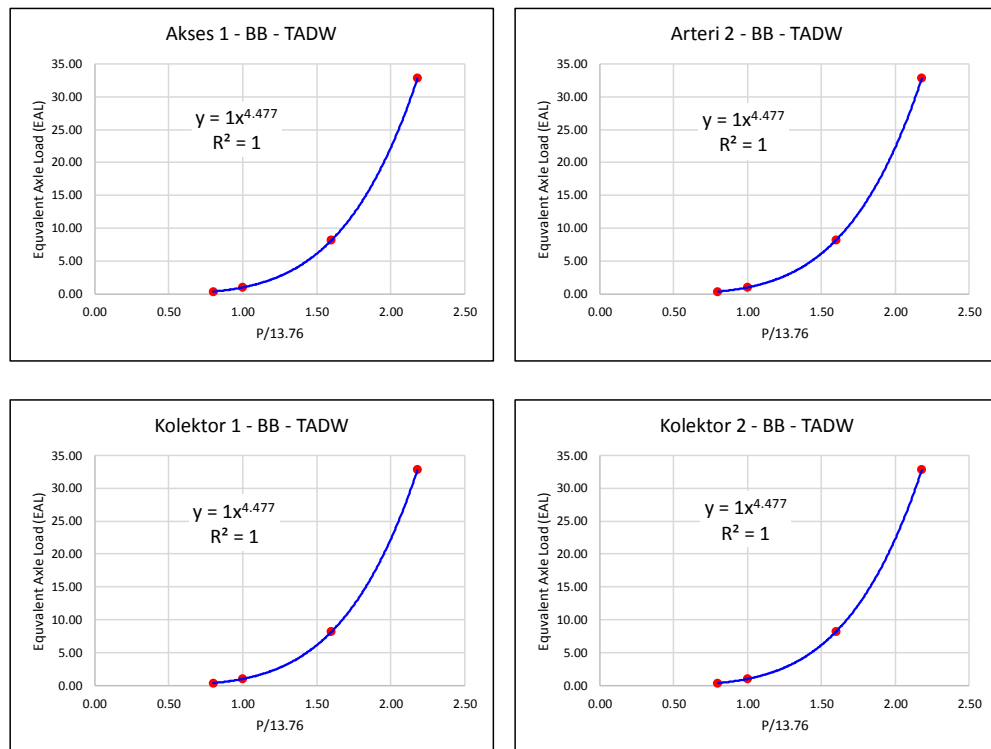
Tabel 4.37. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW / TADW, p		Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d	Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, Nfs; Nfj	$\frac{P_{axle}}{8.16}$	Equivalent Axle Load (EAL) atau Damage Factor, DF	
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm2)							$\frac{P_{axle}}{13.76}$		
SADW	Akses 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1623	0.0162	0.40	5202.0956	0.0002274673	2.7874E+07	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1973	0.0197	0.40	5202.0956	0.0003093545	7.0365E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.2595	0.0260	0.40	5202.0956	0.0004549317	1.2517E+06	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.3243	0.0324	0.40	5202.0956	0.0006065746	3.4527E+05	1.96	20.37975876
	Arteri 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1538	0.0154	0.40	4708.9810	0.0002512872	1.7847E+07	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2180	0.0218	0.40	4708.9810	0.0003417495	4.5053E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3320	0.0332	0.40	4708.9810	0.0005025712	8.0144E+05	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4508	0.0451	0.40	4708.9810	0.0006700938	2.2107E+05	1.96	20.37975876
	Kolektor 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3364	0.0336	0.40	2348.2845	0.0005039027	7.9200E+05	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4371	0.0437	0.40	2348.2845	0.0006853053	1.9993E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.6160	0.0616	0.40	2348.2845	0.0010077987	3.5565E+04	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.8024	0.0802	0.40	2348.2845	0.0013437294	9.8103E+03	1.96	20.37975876
	Kolektor 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.3351	0.0335	0.40	2097.4484	0.0005641650	4.7763E+05	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.4893	0.0489	0.40	2097.4484	0.0007672616	1.2057E+05	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.7635	0.0764	0.40	2097.4484	0.0011283224	2.1448E+04	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	1.0491	0.1049	0.40	2097.4484	0.0015044274	5.9162E+03	1.96	20.37975876
TADW	Akses 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1542	0.0154	0.40	4901.2177	0.0002213122	3.1517E+07	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1766	0.0177	0.40	4901.2177	0.0002768406	1.1568E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.2433	0.0243	0.40	4901.2177	0.0004426212	1.4153E+06	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.3081	0.0308	0.40	4901.2177	0.0006035732	3.5302E+05	2.18	32.76913409
	Arteri 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1390	0.0139	0.40	4809.1510	0.0002255490	2.8952E+07	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1799	0.0180	0.40	4809.1510	0.0002821405	1.0627E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3023	0.0302	0.40	4809.1510	0.0004510948	1.3001E+06	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4211	0.0421	0.40	4809.1510	0.0006151281	3.2429E+05	2.18	32.76913409
	Kolektor 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.3131	0.0313	0.40	2292.8486	0.0004730793	1.0506E+06	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3774	0.0377	0.40	2292.8486	0.0005917775	3.8564E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.5694	0.0569	0.40	2292.8486	0.0009461518	4.7180E+04	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.7558	0.0756	0.40	2292.8486	0.0012902046	1.1768E+04	2.18	32.76913409
	Kolektor 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.2994	0.0299	0.40	2174.5911	0.0004988061	8.2888E+05	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.3979	0.0398	0.40	2174.5911	0.0006239593	3.0424E+05	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.6921	0.0692	0.40	2174.5911	0.0009976050	3.7222E+04	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.9777	0.0978	0.40	2174.5911	0.0013603678	9.2844E+03	2.18	32.76913409



Gambar 4.21. Bentuk hubungan antara  $P_{aktual}/P_{standar}$  versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan

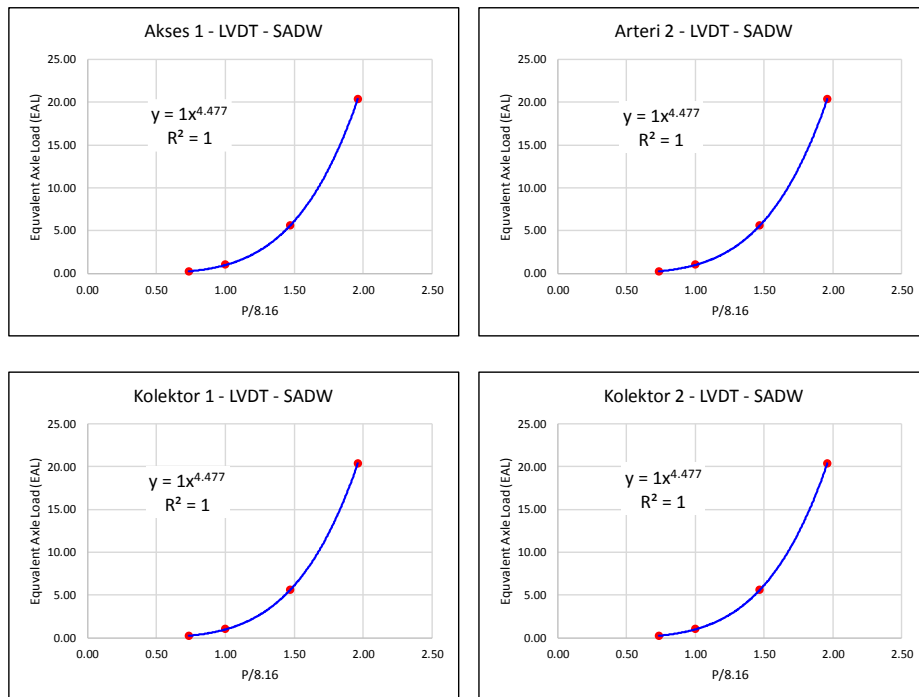




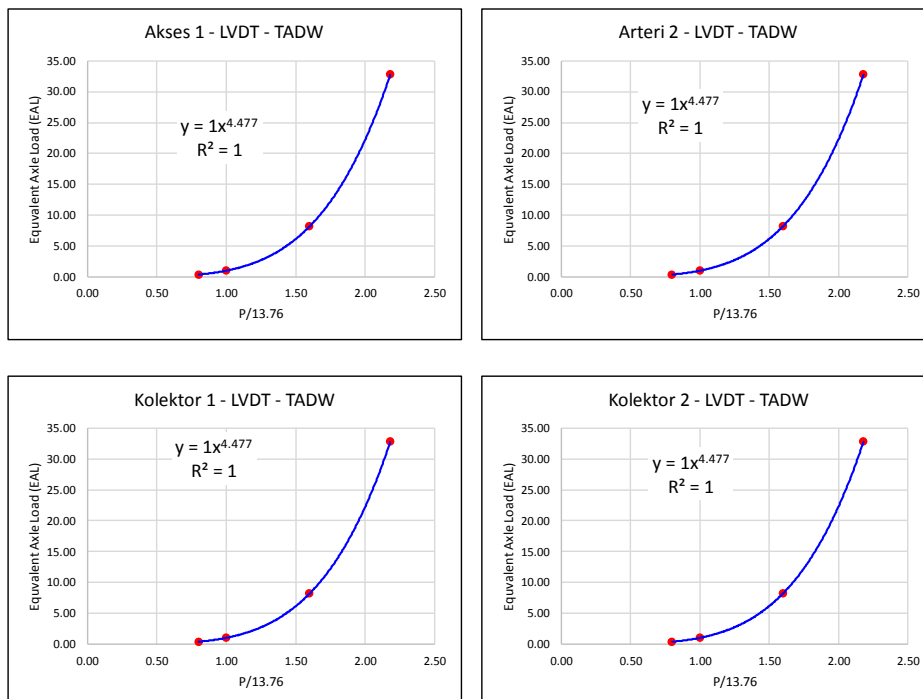
Gambar 4.22. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat BB berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan

Tabel 4.38. Nilai EAL untuk jenis as SADW dan TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan

Jenis As	Ruas Jalan	Beban As SADW / TADW, p		Beban per Roda, p		Tekanan Ban, q		Radius Kontak Ban, a	Nilai Lendutan, d		Poisson Ratio, $\mu$	Modulus Elastisitas, E	Regangan Vertikal, $\epsilon_z$	Number of Load Repetitions, Nf; Nj	$\frac{P_{\text{axle}}}{8.16}$ $\frac{P_{\text{axle}}}{13.76}$	Equivalent Axle Load (EAL) atau Damage Factor, DF
		(ton)	(kg)	(ton)	(kg)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm)	(mm)	(cm)						
SADW	Akses 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0723	0.0072	0.40	10094.1406	0.0001172271	5.4212E+08	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1017	0.0102	0.40	10094.1406	0.0001594283	1.3685E+08	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1539	0.0154	0.40	10094.1406	0.0002344527	2.4344E+07	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.2083	0.0208	0.40	10094.1406	0.0003126030	6.7150E+06	1.96	20.37975876
	Arteri 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.0638	0.0064	0.40	9477.0983	0.0001248596	4.0874E+08	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1083	0.0108	0.40	9477.0983	0.0001698085	1.0318E+08	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.1874	0.0187	0.40	9477.0983	0.0002497176	1.8355E+07	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.2698	0.0270	0.40	9477.0983	0.0003329562	5.0630E+06	1.96	20.37975876
	Kolektor 1	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1523	0.0152	0.40	4603.7888	0.0002570289	1.6130E+07	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.2229	0.0223	0.40	4603.7888	0.0003495581	4.0719E+06	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.3485	0.0349	0.40	4603.7888	0.0005140544	7.2434E+05	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4793	0.0479	0.40	4603.7888	0.0006854048	1.9980E+05	1.96	20.37975876
	Kolektor 2	6.00	6000	1.50	1500	60.37	4.23	10.63	0.1099	0.0110	0.40	5824.4151	0.0002031632	4.6229E+07	0.74	0.25243707
		8.16	8160	2.04	2040	82.11	5.75	10.63	0.1762	0.0176	0.40	5824.4151	0.0002763010	1.1670E+07	1.00	1.00000000
		12.00	12000	3.00	3000	120.74	8.45	10.63	0.2941	0.0294	0.40	5824.4151	0.0004063237	2.0759E+06	1.47	5.62149121
		16.00	16000	4.00	4000	160.99	11.27	10.63	0.4169	0.0417	0.40	5824.4151	0.0005417641	5.7262E+05	1.96	20.37975876
TADW	Akses 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0655	0.0066	0.40	10268.8968	0.0001052696	8.6426E+08	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0843	0.0084	0.40	10268.8968	0.0001321326	3.1723E+08	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1403	0.0140	0.40	10268.8968	0.0002112576	3.8810E+07	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.1947	0.0195	0.40	10268.8968	0.0002880780	9.6807E+06	2.18	32.76913409
	Arteri 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0535	0.0054	0.40	10562.1935	0.0001026964	9.8039E+08	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.0819	0.0082	0.40	10562.1935	0.0001284635	3.5985E+08	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.1668	0.0167	0.40	10562.1935	0.0002053913	4.4025E+07	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.2492	0.0249	0.40	10562.1935	0.0002800785	1.0981E+07	2.18	32.76913409
	Kolektor 1	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.1360	0.0136	0.40	4778.8740	0.0002269780	2.8144E+07	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1811	0.0181	0.40	4778.8740	0.0002839280	1.0330E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.3158	0.0316	0.40	4778.8740	0.0004539527	1.2639E+06	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.4466	0.0447	0.40	4778.8740	0.0006190252	3.1525E+05	2.18	32.76913409
	Kolektor 2	11.00	11000	1.38	1375	55.34	3.87	10.63	0.0946	0.0095	0.40	6320.2211	0.0001716236	9.8385E+07	0.80	0.36705062
		13.76	13760	1.72	1720	69.23	4.85	10.63	0.1369	0.0137	0.40	6320.2211	0.0002146849	3.6112E+07	1.00	1.00000000
		22.00	22000	2.75	2750	110.68	7.75	10.63	0.2634	0.0263	0.40	6320.2211	0.0003432448	4.4181E+06	1.60	8.17378477
		30.00	30000	3.75	3750	150.93	10.57	10.63	0.3862	0.0386	0.40	6320.2211	0.0004680602	1.1020E+06	2.18	32.76913409



Gambar 4.23. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as SADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan



Gambar 4.24. Bentuk hubungan antara  $P_{\text{aktual}}/P_{\text{standar}}$  versus EAL untuk jenis as TADW dengan alat LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban dan E konstan

#### 4.4. Analisis Bentuk Persamaan Equivalent Axle Load (EAL)

Perhitungan dan analisis nilai EAL telah dibahas dengan detail pada Sub-bab 4.3. Pada sub-bab tersebut dijelaskan bahwa dari ketiga skenario, hasil yg didapat pada Skenario ke tiga, yaitu berdasarkan nilai E konstan, dihasilkan nilai EAL yang sama untuk semua ruas dengan berbagai variasi pembebanan. Kondisi tersebut tentunya tidak sesuai dengan kondisi di lapangan dimana pada jalan-jalan yang dilalui kendaraan berat lebih cepat mengalami kerusakan daripada jalan-jalan yang tidak dilalui kendaraan berat. Disampaing itu, dengan jumlah dan jenis volume lalu lintas yang sama, pada jalan yang mempunyai ketebalan struktur perkerasan yang tipis akan lebih cepat mengalami kerusakan daripada jalan yang mempunyai ketebalan struktur perkerasan yang cukup tebal. Berdasarkan kondisi tersebut, pada analisis berikutnya hanya dua skenario yang akan dikaji lebih detil, yaitu berdasarkan tekanan ban (q) aktual dan penyesuaian tekanan ban.

Untuk memudahkan menentukan bentuk persamaan EAL, langkah berikutnya adalah membuat rangkuman nilai EAL untuk kedua skenario seperti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya. Rangkuman nilai EAL berdasarkan jenis as SADW dan TADW, alat yang digunakan untuk uji lendutan perkerasan jalan, tekanan ban yang digunakan, dan variasi pembebanan dengan mengacu pada pedoman Bina Marga (1989 dan 2005) dapat dilihat pada Tabel 4.39 dan 4.40.

Tabel 4.39. Rangkuman nilai EAL untuk as SADW dan TADW dengan alat BB dan LVDT berdasarkan tekanan ban aktual

Jenis As	Jenis Alat	Beban As SADW / TADW, P (ton)	$\frac{P_{axle}}{8.16}$ $\frac{P_{axle}}{13.76}$	Nilai EAL			
				Akses	Arteri	Kolektor 1	Kolektor 2
SADW	LVDT	6.00	0.74	1.07190	0.46167	0.89596	0.59587
		8.16	1.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
		12.00	1.47	14.58191	26.55179	16.84760	22.58476
		16.00	1.96	29.69229	71.28593	36.85534	56.56799
TADW	BB	11.00	0.80	0.90033	0.51886	0.71520	0.46182
		13.76	1.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
		22.00	1.60	2.21053	5.36771	3.31629	6.26791
		30.00	2.18	3.17752	11.82273	5.88509	14.69992

Tabel 4.40. Rangkuman nilai EAL untuk as SADW dan TADW dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Jenis As	Beban As SADW / TADW, P (ton)	$\frac{P_{axle}}{8.16}$ $\frac{P_{axle}}{13.76}$	Nilai EAL											
			Akses			Arteri			Kolektor 1			Kolektor 2		
			FWD	BB	LVDT	FWD	BB	LVDT	FWD	BB	LVDT	FWD	BB	LVDT
SADW	6.00	0.74	0.32047	0.41725	0.21729	0.32776	0.20997	0.09359	0.41252	0.30978	0.18163	0.46374	0.18361	0.12080
	8.16	1.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
	12.00	1.47	4.49622	3.41102	6.39657	4.39723	6.58098	11.64734	3.45438	4.64799	7.39045	3.02387	7.32840	9.90714
	16.00	1.96	14.40863	9.25337	24.79992	13.91179	25.88450	59.54021	9.44611	15.17990	30.78272	7.58712	30.39968	47.24733
TADW	11.00	0.80	0.44511	0.54546	0.32369	0.45307	0.31435	0.14839	0.54081	0.43330	0.27714	0.59007	0.27979	0.19060
	13.76	1.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
	22.00	1.60	6.02961	4.20205	9.79899	5.85314	10.20361	24.11742	4.27054	6.30400	12.06204	3.60726	11.91482	18.71488
	30.00	2.18	20.96389	12.09411	42.49066	20.05358	44.99902	145.51335	12.40196	22.39950	56.91632	9.51501	55.95001	103.81186

#### 4.4.1. Bentuk Persamaan EAL Untuk As SADW

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bentuk umum persamaan EAL adalah merupakan bentuk persamaan power yang sering dinyatakan sebagai  $Y=a.X^b$ . Nilai Y adalah nilai EAL sebagai variabel tidak bebas, X adalah nilai perbandingan  $P_{aktual}/P_{standar}$  sebagai variabel bebas, a dan b adalah konstanta yang dapat dari analisis regresi non-linier (power). Bentuk persamaan EAL yang dikeluarkan oleh Bina Marga (1989, 2005, 2013) untuk as SADW ditunjukkan nilai konstanta  $a = 1$  (lihat Persamaan 2.10, 2.23, 2.24, 2.31, 2.32, 2.35 dan 2.36). Agar bentuk persamaan EAL yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan persamaan EAL Bina Marga, maka konstanta yang akan dicari adalah nilai konstanta b (nilai pangkat).

Berdasarkan hasil analisis nilai EAL yang telah didapat (lihat Sub-bab 4.3) selanjutnya dicari bentuk persamaan EAL. Nilai pangkat (b) yang didapat merupakan nilai hasil coba-coba dengan memasukkan sembarang angka positif kedalam Persamaan 2.10. Untuk mengetahui nilai pangkat (b) yang benar, metode yang digunakan untuk menguji nilai pangkat (b) adalah dengan menggunakan metode Sum Square Error (SSE). Pada Metode SSE dijelaskan, nilai pangkat (b) yang dicari dianggap paling mendekati kebenaran jika nilai Sum Square Error (SSE) mempunyai nilai yang terkecil.

Seperti halnya dalam skenario analisis nilai EAL, penentuan persamaan EAL juga didasarkan pada dua kondisi yaitu berdasarkan tekanan ban aktual dan penyesuaian tekanan ban. Hasil analisis penentuan persamaan EAL untuk as SADW seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.41 dan 4.42.

Tabel 4.41. Bentuk persamaan EAL untuk as SADW dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual

Lokasi	Beban As SADW (ton)	P/8.16	Berdasarkan Tekanan Ban Aktual		Persamaan EAL SADW Bina Marga (1989, 2005, 2013)
			Nilai EAL dg. alat LVDT	Persamaan EAL <sub>SADW</sub>	
Akses / Khusus	6.00	0.7353	0.0002	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{5.08}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	0.0002		
	12.00	1.4706	0.0003		
	16.00	1.9608	0.0003		
Arteri	6.00	0.7353	0.0001	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{6.36}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	0.0002		
	12.00	1.4706	0.0003		
	16.00	1.9608	0.0004		
Kolektor 1	6.00	0.7353	0.0003	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{5.40}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	0.0003		
	12.00	1.4706	0.0006		
	16.00	1.9608	0.0008		
Kolektor 2	6.00	0.7353	0.0002	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{6.00}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	0.0003		
	12.00	1.4706	0.0005		
	16.00	1.9608	0.0007		

Tabel 4.42. Bentuk persamaan EAL untuk as SADW dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Lokasi	Beban As SADW (ton)	P/8.16	Berdasarkan Penyesuaian Tekanan Ban						Persamaan EAL SADW Bina Marga (1989, 2005, 2013)
			Nilai EAL dg. alat FWD	Persamaan EAL <sub>SADW</sub>	Nilai EAL dg. alat BB	Persamaan EAL <sub>SADW</sub>	Nilai EAL dg. alat LVDT	Persamaan EAL <sub>SADW</sub>	
Akses / Khusus	6.00	0.7353	0.3205	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{3.96}$	0.4172	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{3.30}$	0.2173	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4.77}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	12.00	1.4706	4.4962		3.4110		6.3966		
	16.00	1.9608	14.4086		9.2534		24.7999		
Arteri	6.00	0.7353	0.3278	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{3.91}$	0.2100	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4.83}$	0.0936	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{6.07}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	12.00	1.4706	4.3972		6.5810		11.6473		
	16.00	1.9608	13.9118		25.8845		59.5402		
Kolektor 1	6.00	0.7353	0.4125	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{3.33}$	0.3098	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4.04}$	0.1816	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{5.09}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	12.00	1.4706	3.4544		4.6480		7.3905		
	16.00	1.9608	9.4461		15.1799		30.7827		
Kolektor 2	6.00	0.7353	0.4637	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{3.01}$	0.1836	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{5.07}$	0.1208	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{5.73}$	$EAL = \left(\frac{P}{8.16}\right)^{4 \text{ dan } 5}$
	8.16	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	12.00	1.4706	3.0239		7.3284		9.9071		
	16.00	1.9608	7.5871		30.3997		47.2473		

Data-data yang tercantum pada Tabel 4.41 dipresentasikan nilai dan bentuk persamaan EAL untuk as SADW dengan alat LVDT berdasarkan tekanan ban aktual. Pada tabel tersebut terlihat beberapa bentuk persamaan EAL dengan menggunakan alat LVDT menghasilkan bentuk persamaan yang lebih besar daripada Bina Marga (1989, 2005, 2013). Hal tersebut terjadi karena nilai kenaikan

lendutan akibat beban as kendaraan yang didapat adalah lebih besar daripada nilai kenaikan variasi pembebanan saat pengujian lendutan perkerasan jalan.

Pada Tabel 4.41 juga disampaikan penggunaan tekanan ban yang tinggi pada kendaraan berat pada perkerasan yang cukup tebal (jalan Khusus), menghasilkan nilai pangkat (b) terkecil jika dibandingkan dengan lokasi lain yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil daripada jalan Akses, seperti jalan Arteri dan Kolektor. Meskipun faktor tekanan ban berpengaruh terhadap perhitungan nilai EAL, namun faktor utama yang sangat berpengaruh dalam perhitungan nilai EAL adalah nilai lendutan perkerasan jalan. Semakin kecil nilai lendutan perkerasan jalan yang didapat, semakin kaku struktur perkerasan jalan tersebut. Akan tetapi karena tekanan ban pada umumnya di lapangan selalu disesuaikan dengan beban as kendaraan yang dimuat, maka faktor beban as kendaraan juga berpengaruh terhadap perhitungan nilai EAL. Hal tersebut membuktikan bahwa untuk melawan beban kendaraan yang overloaded dengan tekanan ban yang tinggi adalah dengan mempertebal atau memperkaku struktur perkerasan jalan.

Pada Tabel 4.42 diinformasikan nilai dan bentuk persamaan EAL untuk as SADW dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban. Pada tabel tersebut terlihat nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang terbentuk dengan alat FWD (untuk semua lokasi) dan alat BB (untuk jalan Akses) mempunyai nilai pangkat (b) lebih kecil daripada nilai pangkat (b) pada persamaan EAL Bina Marga (2005, 2013). Pada tabel tersebut juga terlihat nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang terbentuk dengan alat BB (Kolektor 2) dan LVDT (Arteri, Kolektor 1 dan 2) terdapat nilai pangkat (b) lebih besar daripada Bina Marga (2013).

Jika dilihat dari besarnya nilai pangkat b, tampak ada bentuk persamaan EAL yang lebih besar dan lebih kecil daripada bentuk persamaan Bina Marga (1989, 2005, 2013). Setelah dicermati lebih teliti terhadap perhitungan nilai  $E$ ,  $\varepsilon_z$  dan EAL pada Sub-bab 4.3.1 dan 4.3.2 diketahui bahwa jika nilai peningkatan penambahan tekanan ban atau penambahan beban as kendaraan lebih besar daripada nilai peningkatan nilai lendutan perkerasan jalan yang terjadi, maka nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang terbentuk akan lebih kecil daripada nilai pangkat (b) pada bentuk persamaan Bina Marga (1989, 2005, 2013), dan sebaliknya.

#### 4.4.2. Bentuk Persamaan EAL Untuk As TADW

Secara umum, cara untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL untuk as TADW adalah sama seperti ketika mencari bentuk persamaan EAL untuk as SADW. Hal yang membedakan hanya terletak pada beban standar yang digunakan. Beban standar menurut Bina Marga (2005, 2013) adalah 13.76 ton. Berdasarkan resume nilai EAL as TADW pada Tabel 4.39 – 4.40 selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan persamaan EAL as TADW. Hasil analisis persamaan EAL as TADW seperti yang disajikan pada Tabel 4.43 dan 4.44.

Tabel 4.43. Bentuk persamaan EAL untuk as TADW dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual

Lokasi	Beban As TADW (ton)	P/13.76	Berdasarkan Tekanan Ban Aktual		Berdasarkan Nilai EAL dg. alat FWD	Persamaan EAL TADW Bina Marga (2005, 2013)
			Nilai EAL dg. alat BB	Persamaan EAL TADW		
Akses / Khusus	11.00	0.7994	0.0004	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{1.51}$	0.4451	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	0.0004		1.0000	
	22.00	1.5988	0.0005		6.0296	
	30.00	2.1802	0.0005		20.9639	
Arteri	11.00	0.7994	0.0004	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{3.19}$	0.4531	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	0.0004		1.0000	
	22.00	1.5988	0.0006		5.8531	
	30.00	2.1802	0.0007		20.0536	
Kolektor 1	11.00	0.7994	0.0008	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{2.30}$	0.5408	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	0.0009		1.0000	
	22.00	1.5988	0.0011		4.2705	
	30.00	2.1802	0.0013		12.4020	
Kolektor 2	11.00	0.7994	0.0008	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{3.47}$	0.5901	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	0.0009		1.0000	
	22.00	1.5988	0.0014		3.6073	
	30.00	2.1802	0.0017		9.5150	

Tabel 4.44. Bentuk persamaan EAL untuk as TADW dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban

Lokasi	Beban As TADW (ton)	P/13.76	Berdasarkan Penyesuaian Tekanan Ban						Persamaan EAL TADW Bina Marga (2005, 2013)
			Nilai EAL dg. alat FWD	Persamaan EAL TADW	Nilai EAL dg. alat BB	Persamaan EAL TADW	Nilai EAL dg. alat LVDT	Persamaan EAL TADW	
Akses / Khusus	11.00	0.7994	0.4451	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{3.90}$	0.5455	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{3.19}$	0.3237	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4.81}$	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	22.00	1.5988	6.0296		4.2020		9.7990		
	30.00	2.1802	20.9639		12.0941		42.4907		
Arteri	11.00	0.7994	0.4531	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{3.84}$	0.3144	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4.89}$	0.1484	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{6.39}$	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	22.00	1.5988	5.8531		10.2036		24.1174		
	30.00	2.1802	20.0536		44.9990		145.5134		
Kolektor 1	11.00	0.7994	0.5408	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{3.22}$	0.4333	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{3.99}$	0.2771	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{5.19}$	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	22.00	1.5988	4.2705		6.3040		12.0620		
	30.00	2.1802	12.4020		22.3995		56.9163		
Kolektor 2	11.00	0.7994	0.5901	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{2.88}$	0.2798	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{5.17}$	0.1906	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{5.96}$	$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4 \text{ dan } 5}$
	13.76	1.0000	1.0000		1.0000		1.0000		
	22.00	1.5988	3.6073		11.9148		18.7149		
	30.00	2.1802	9.5150		55.9500		103.8119		

Hasil persamaan EAL pada Tabel 4.43 dipresentasikan bentuk persamaan EAL untuk as TADW beban as standar 13.76 ton dengan alat BB berdasarkan tekanan ban aktual. Pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang terbentuk untuk semua lokasi adalah lebih kecil daripada nilai pangkat (b) pada persamaan EAL Bina Marga (2005, 2013). Hal tersebut terjadi karena nilai kenaikan lendutan yang didapat adalah lebih kecil atau hampir sama dengan nilai kenaikan variasi pembebanan saat pengujian lendutan perkerasan jalan.

Pada Tabel 4.43 juga terlihat penggunaan tekanan ban yang tinggi pada kendaraan berat pada perkerasan yang cukup tebal (jalan Khusus), dihasilkan nilai pangkat (b) terkecil jika dibandingkan dengan lokasi lain yang mempunyai ketebalan yang lebih kecil daripada jalan Akses, seperti jalan Arteri dan Kolektor. Meskipun faktor tekanan ban berpengaruh terhadap perhitungan nilai EAL, namun faktor utama yang sangat berpengaruh dalam perhitungan nilai EAL adalah nilai lendutan perkerasan jalan. Semakin kecil nilai lendutan perkerasan jalan yang didapat, semakin kaku struktur perkerasan jalan tersebut. Akan tetapi karena tekanan ban pada umumnya di lapangan selalu disesuaikan dengan beban as kendaraan yang dimuat, maka faktor beban as kendaraan juga berpengaruh terhadap nilai EAL. Hal tersebut membuktikan bahwa untuk melawan beban kendaraan yang overloaded dengan tekanan ban yang tinggi adalah dengan mempertebal atau memperkaku struktur perkerasan jalan.

Pada Tabel 4.44 diinformasikan bentuk persamaan EAL as TADW beban as standar 13.76 ton dengan alat FWD, BB dan LVDT berdasarkan penyesuaian tekanan ban. Pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang terbentuk dengan alat FWD (untuk semua lokasi) dan BB (untuk jalan Akses dan Kolektor 1) adalah lebih kecil daripada nilai pangkat (b) pada persamaan EAL Bina Marga (2005, 2013). Pada tabel tersebut juga terlihat nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang terbentuk dengan alat BB (Kolektor 2) dan LVDT (Arteri, Kolektor 1 dan 2) terdapat nilai pangkat (b) lebih besar daripada Bina Marga (2013).

Jika dilihat dari besarnya nilai pangkat b, tampak ada bentuk persamaan EAL yang lebih besar dan lebih kecil daripada bentuk persamaan Bina Marga



(1989, 2005, 2013). Setelah dicermati lebih teliti terhadap perhitungan nilai  $E$ ,  $\varepsilon_z$  dan EAL pada Sub-bab 4.3.1 dan 4.3.2 diketahui bahwa jika nilai peningkatan penambahan tekanan ban atau penambahan beban as kendaraan lebih besar daripada nilai peningkatan nilai lendutan perkerasan jalan yang terjadi, maka nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang terbentuk akan lebih kecil daripada nilai pangkat (b) pada bentuk persamaan Bina Marga (1989, 2005, 2013), dan sebaliknya.

#### **4.4.3. Dampak Peningkatan Beban As Kendaraan Terhadap Nilai Lendutan Perkerasan Jalan dan Nilai Pangkat (b) Pada Persamaan EAL**

Pada tahap analisis ini, skenario yang akan digunakan untuk mendapatkan bentuk persamaan EAL adalah berdasarkan skenario ke dua yaitu didasarkan pada penyesuaian tekanan ban. Hal tersebut dikarenakan pada skenario ke satu, yaitu penggunaan tekanan ban aktual, dianggap kurang sesuai sebab kenyataan di lapangan penggunaan tekanan ban yang tinggi tidak hanya digunakan untuk mengangkut dengan beban as yang *overloaded*, namun juga digunakan untuk mengangkut beban as yang ringan (dibawah beban standar). Kondisi tersebut tentunya tidak sesuai dengan kondisi ideal dimana nilai tekanan ban yang digunakan akan berbanding lurus dengan beban as yang diangkut. Hal tersebut dibuktikan dari hasil uji lendutan perkerasan jalan dengan menggunakan alat FWD dimana hasil uji lendutan yang terekam menunjukkan nilai tekanan ban berbanding lurus dengan penambahan beban as kendaraan (lihat Gambar 4.10).

Pada Sub-bab 4.2 dan 4.3 telah dijelaskan proses analisis mulai dari data lendutan perkerasan jalan sebagai data input sampai dengan mendapatkan bentuk persamaan EAL yang selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.41 sampai dengan Tabel 4.44. Namun demikian, pada analisis tersebut belum nampak dampak atau pengaruh dari penambahan beban as kendaraan terhadap nilai lendutan perkerasan jalan dan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL. Untuk dapat mengetahui sejauh mana dampak tersebut perlu dilakukan perhitungan terhadap besarnya nilai peningkatan beban as kendaraan ( $P/P_{std}$ ) dan peningkatan nilai lendutan ( $d/d_{std}$ ) akibat penambahan beban as kendaraan saat pengujian lendutan dilakukan.

Data input yang digunakan untuk analisis mengacu pada hasil perhitungan yang telah dilakukan seperti yang telah disajikan pada Tabel 4.32 – 4.34.

Rangkuman hasil perhitungan nilai peningkatan beban dan lendutan perkerasan jalan berdasarkan alat penguji lendutan dapat dilihat pada Tabel 4.45 – 4.47. Gambaran nilai peningkatan beban dan lendutan perkerasan jalan berdasarkan alat penguji lendutan terhadap bentuk persamaan EAL berdasarkan skenario penyesuaian tekanan ban dapat dilihat pada Gambar 4.25 – 4.30.

Gambar 4.25 – 4.30 ditujukan untuk memberikan gambaran pengaruh penambahan beban as kendaraan terhadap nilai lendutan perkerasan jalan. Pada masing-masing gambar tersebut terdapat dua garis hasil analisis regresi linier. Garis warna merah menunjukkan bahwa besarnya nilai penambahan beban berbanding lurus dengan besarnya nilai penambahan beban as kendaraan, dan garis warna biru menunjukkan gambaran dampak peningkatan beban as kendaraan saat pengujian lendutan terhadap nilai lendutan perkerasan jalan. Pada masing-masing gambar tersebut juga disajikan bentuk persamaan hasil analisis regresi linier dan persamaan EAL yang didapat berdasarkan data lendutan perkerasan jalan pada setiap lokasi jalan yang diamati.

Tabel 4.45. Nilai peningkatan beban dan lendutan perkerasan jalan dengan alat FWD untuk as SADW dan TADW

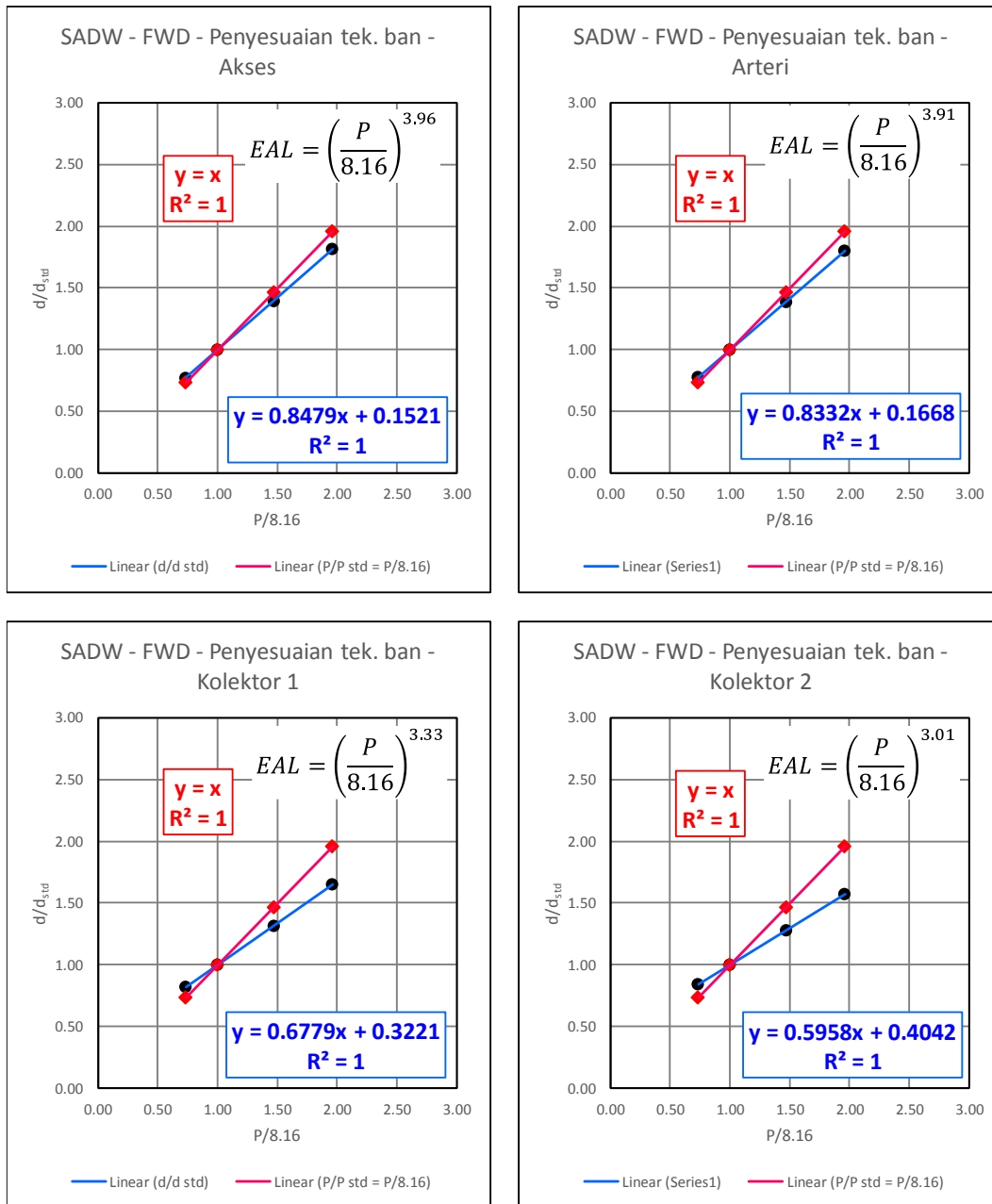
Jenis As	Ruas Jalan	Beban, P (ton)	P/P <sub>std</sub>	Lendutan, d (mm)	d/d <sub>std</sub>	Jenis As	Ruas Jalan	Beban, P (ton)	P/P <sub>std</sub>	Lendutan, d (mm)	d/d <sub>std</sub>
SADW	Akses 1	6.00	0.7353	0.0821	0.7756	TADW	Akses 1	11.00	0.7994	0.0766	0.8346
		8.16	1.0000	0.1059	1.0000			13.76	1.0000	0.0918	1.0000
		12.00	1.4706	0.1481	1.3990			22.00	1.5988	0.1371	1.4938
		16.00	1.9608	0.1921	1.8147			30.00	2.1802	0.1811	1.9732
	Arteri 2	6.00	0.7353	0.2023	0.7795		Arteri 2	11.00	0.7994	0.1891	0.8379
		8.16	1.0000	0.2595	1.0000			13.76	1.0000	0.2256	1.0000
		12.00	1.4706	0.3613	1.3921			22.00	1.5988	0.3348	1.4839
		16.00	1.9608	0.4673	1.8005			30.00	2.1802	0.4408	1.9537
	Kolektor 1	6.00	0.7353	0.2963	0.8205		Kolektor 1	11.00	0.7994	0.2813	0.8717
		8.16	1.0000	0.3611	1.0000			13.76	1.0000	0.3227	1.0000
		12.00	1.4706	0.4763	1.3190			22.00	1.5988	0.4463	1.3830
		16.00	1.9608	0.5963	1.6513			30.00	2.1802	0.5663	1.7549
	Kolektor 2	6.00	0.7353	0.3749	0.8423		Kolektor 2	11.00	0.7994	0.3587	0.8888
		8.16	1.0000	0.4451	1.0000			13.76	1.0000	0.4035	1.0000
		12.00	1.4706	0.5699	1.2804			22.00	1.5988	0.5374	1.3318
		16.00	1.9608	0.6999	1.5725			30.00	2.1802	0.6674	1.6540

Tabel 4.46. Nilai peningkatan beban dan lendutan perkerasan jalan dengan alat BB untuk as SADW dan TADW

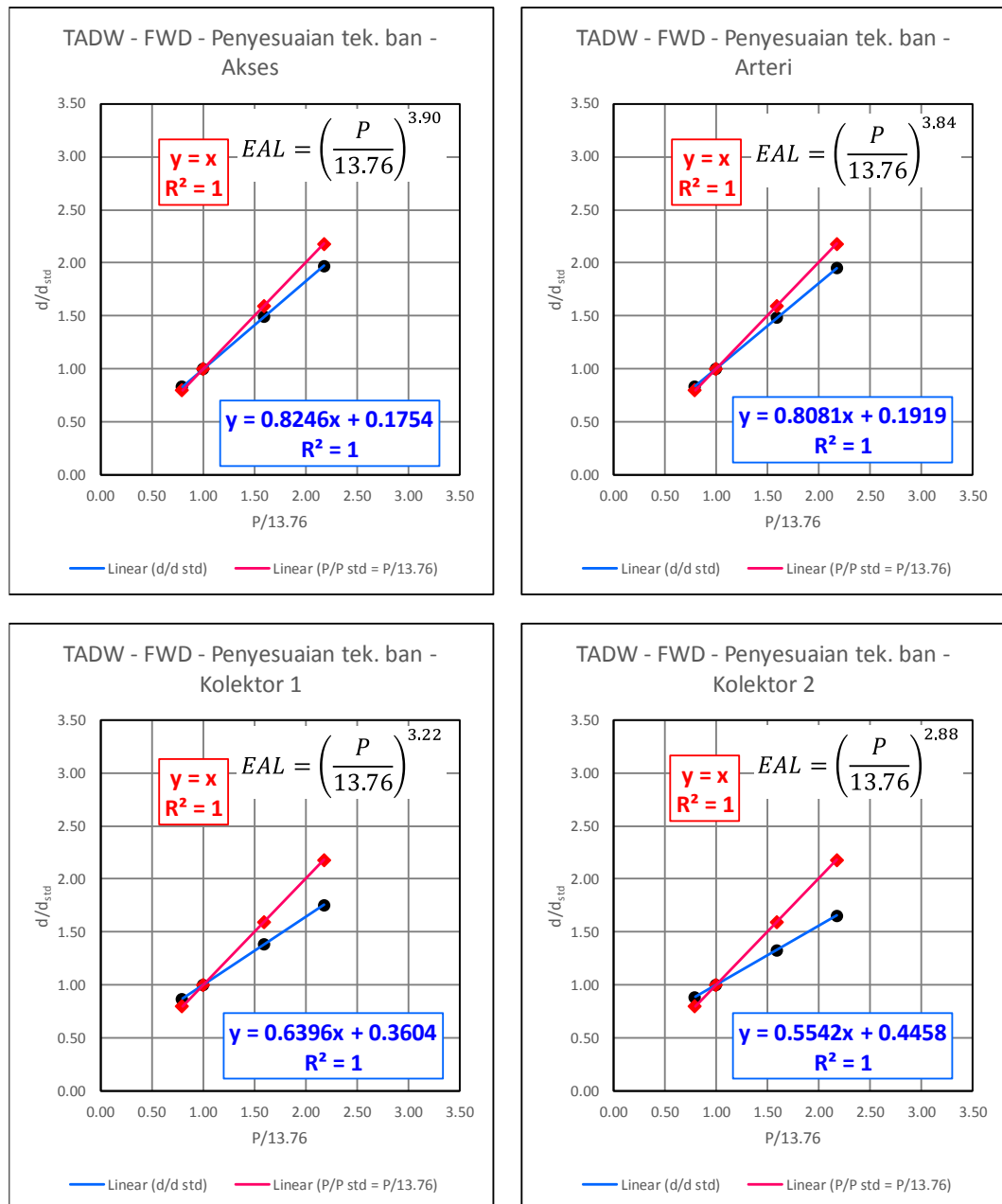
Jenis As	Ruas Jalan	Beban, P	P/P <sub>std</sub>	Lendutan, d	d/d <sub>std</sub>	Jenis As	Ruas Jalan	Beban, P	P/P <sub>std</sub>	Lendutan, d	d/d <sub>std</sub>
		(ton)		(mm)				(ton)		(mm)	
SADW	Akses 1	6.00	0.7353	0.1623	0.8226	TADW	Akses 1	11.00	0.7994	0.1542	0.8734
		8.16	1.0000	0.1973	1.0000			13.76	1.0000	0.1766	1.0000
		12.00	1.4706	0.2595	1.3153			22.00	1.5988	0.2433	1.3780
		16.00	1.9608	0.3243	1.6438			30.00	2.1802	0.3081	1.7451
	Arteri 2	6.00	0.7353	0.1538	0.7057		Arteri 2	11.00	0.7994	0.1390	0.7722
		8.16	1.0000	0.2180	1.0000			13.76	1.0000	0.1799	1.0000
		12.00	1.4706	0.3320	1.5233			22.00	1.5988	0.3023	1.6800
		16.00	1.9608	0.4508	2.0683			30.00	2.1802	0.4211	2.3403
	Kolektor 1	6.00	0.7353	0.3364	0.7697		Kolektor 1	11.00	0.7994	0.3131	0.8296
		8.16	1.0000	0.4371	1.0000			13.76	1.0000	0.3774	1.0000
		12.00	1.4706	0.6160	1.4094			22.00	1.5988	0.5694	1.5087
		16.00	1.9608	0.8024	1.8359			30.00	2.1802	0.7558	2.0026
	Kolektor 2	6.00	0.7353	0.3351	0.6848		Kolektor 2	11.00	0.7994	0.2994	0.7524
		8.16	1.0000	0.4893	1.0000			13.76	1.0000	0.3979	1.0000
		12.00	1.4706	0.7635	1.5603			22.00	1.5988	0.6921	1.7392
		16.00	1.9608	1.0491	2.1440			30.00	2.1802	0.9777	2.4570

Tabel 4.47. Nilai peningkatan beban dan lendutan perkerasan jalan dengan alat LVDT untuk as SADW dan TADW

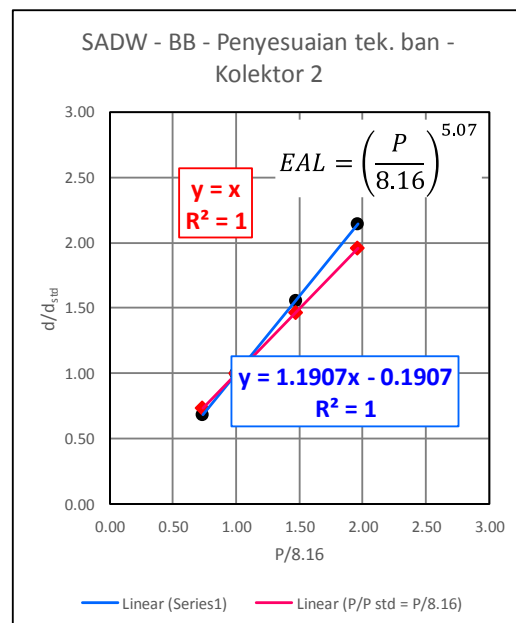
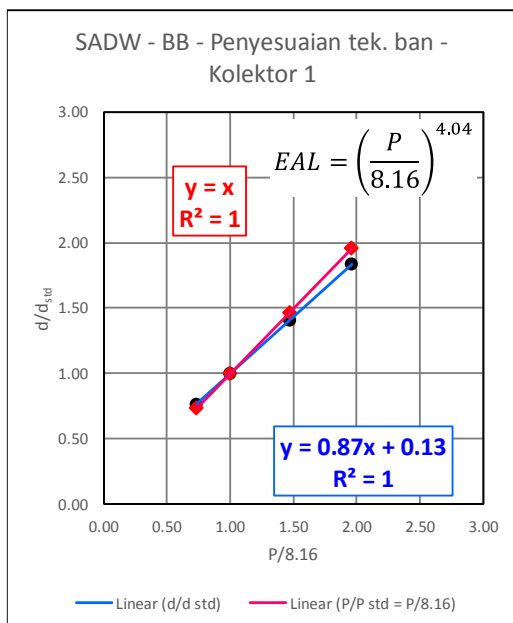
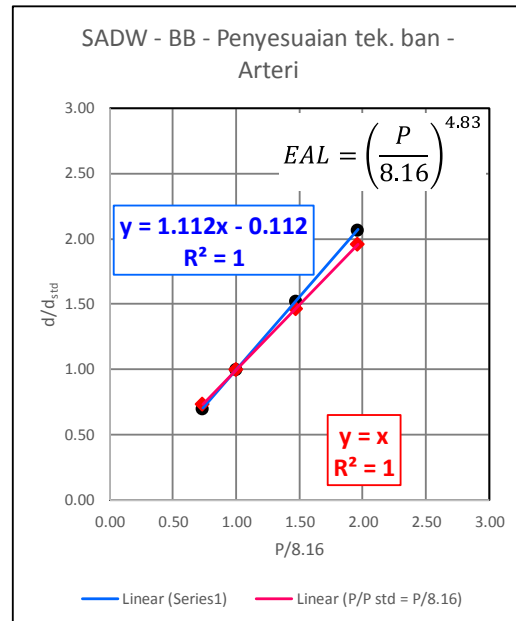
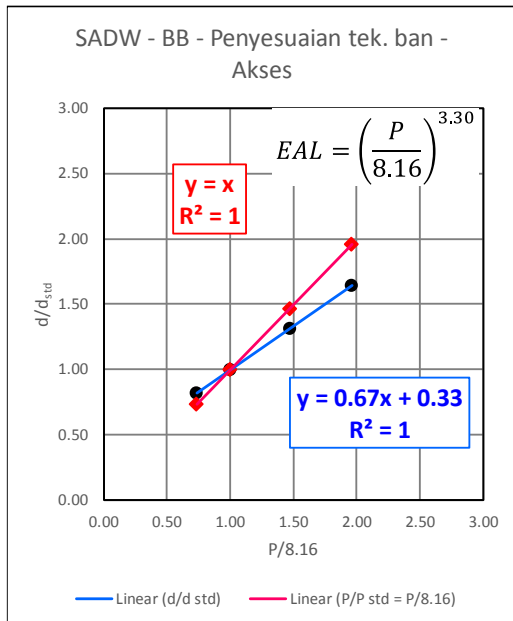
Jenis As	Ruas Jalan	Beban, P	P/P <sub>std</sub>	Lendutan, d	d/d <sub>std</sub>	Jenis As	Ruas Jalan	Beban, P	P/P <sub>std</sub>	Lendutan, d	d/d <sub>std</sub>
		(ton)		(mm)				(ton)		(mm)	
SADW	Akses 1	6.00	0.7353	0.0723	0.7111	TADW	Akses 1	11.00	0.7994	0.0655	0.7773
		8.16	1.0000	0.1017	1.0000			13.76	1.0000	0.0843	1.0000
		12.00	1.4706	0.1539	1.5136			22.00	1.5988	0.1403	1.6649
		16.00	1.9608	0.2083	2.0487			30.00	2.1802	0.1947	2.3105
	Arteri 2	6.00	0.7353	0.0638	0.5891		Arteri 2	11.00	0.7994	0.0535	0.6530
		8.16	1.0000	0.1083	1.0000			13.76	1.0000	0.0819	1.0000
		12.00	1.4706	0.1874	1.7304			22.00	1.5988	0.1668	2.0359
		16.00	1.9608	0.2698	2.4913			30.00	2.1802	0.2492	3.0417
	Kolektor 1	6.00	0.7353	0.1523	0.6832		Kolektor 1	11.00	0.7994	0.1360	0.7508
		8.16	1.0000	0.2229	1.0000			13.76	1.0000	0.1811	1.0000
		12.00	1.4706	0.3485	1.5633			22.00	1.5988	0.3158	1.7440
		16.00	1.9608	0.4793	2.1500			30.00	2.1802	0.4466	2.4664
	Kolektor 2	6.00	0.7353	0.1099	0.6237		Kolektor 2	11.00	0.7994	0.0946	0.6906
		8.16	1.0000	0.1762	1.0000			13.76	1.0000	0.1369	1.0000
		12.00	1.4706	0.2941	1.6690			22.00	1.5988	0.2634	1.9238
		16.00	1.9608	0.4169	2.3659			30.00	2.1802	0.3862	2.8207



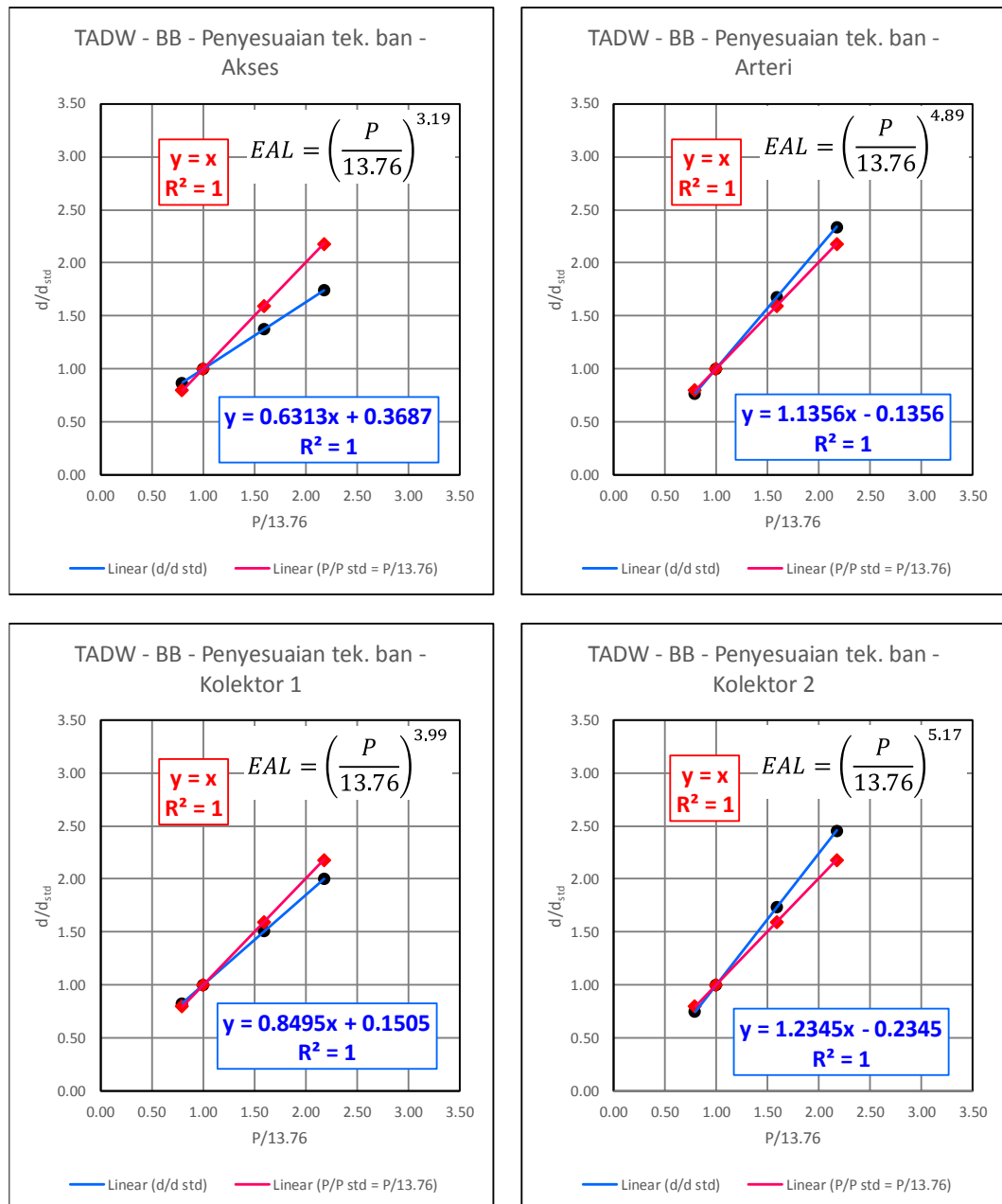
Gambar 4.25. Ilustrasi bunga antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat FWD untuk as SADW



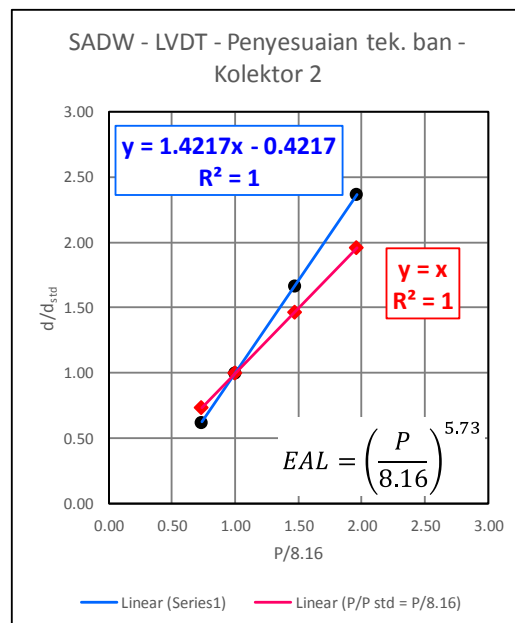
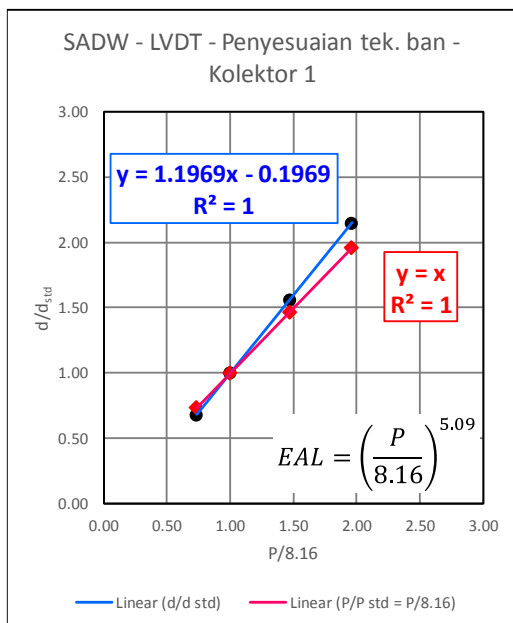
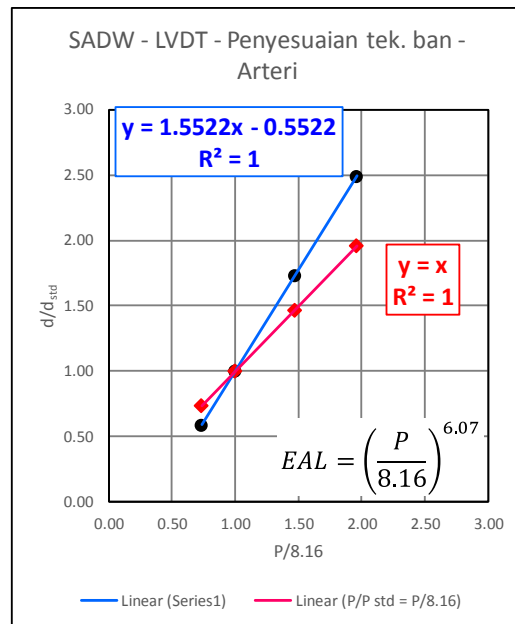
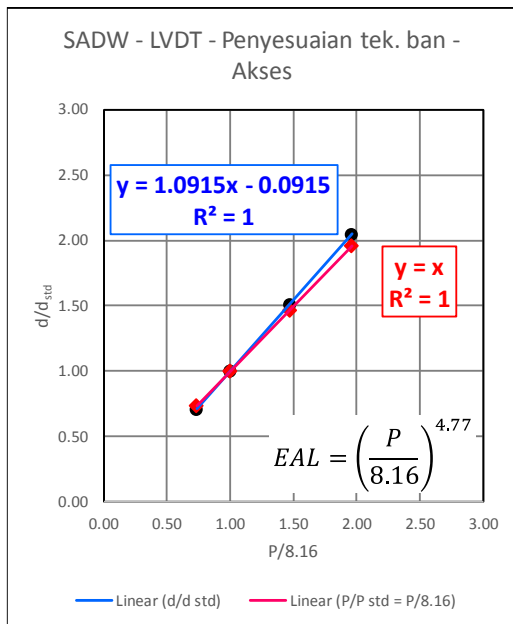
Gambar 4.26. Ilustrasi bunga antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat FWD untuk as TADW



Gambar 4.27. Ilustrasi bunga antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat BB untuk as SADW

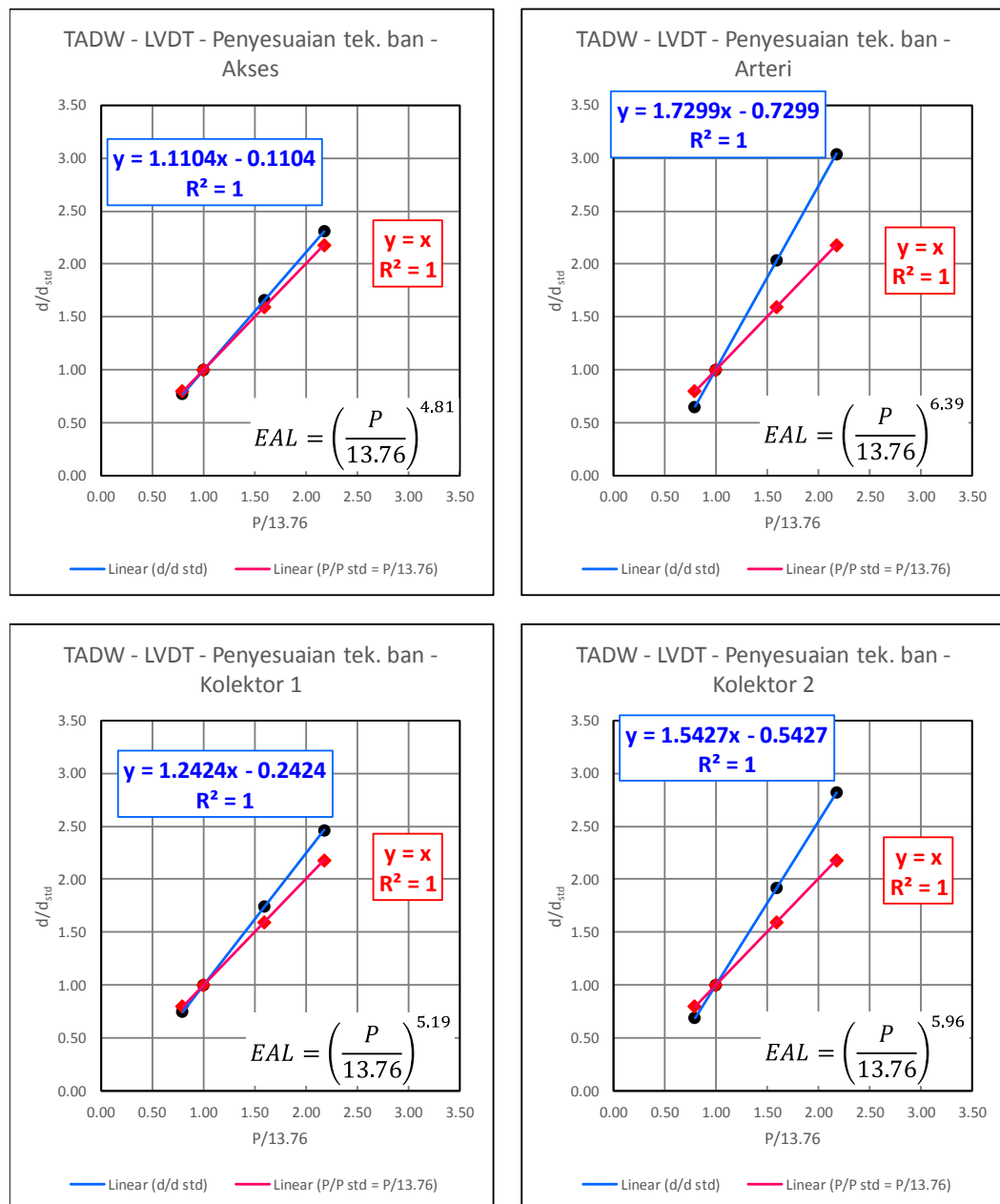


Gambar 4.28. Ilustrasi bunga antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat BB untuk as TADW



Gambar 4.29. Ilustrasi bungan antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat LVDT untuk as SADW



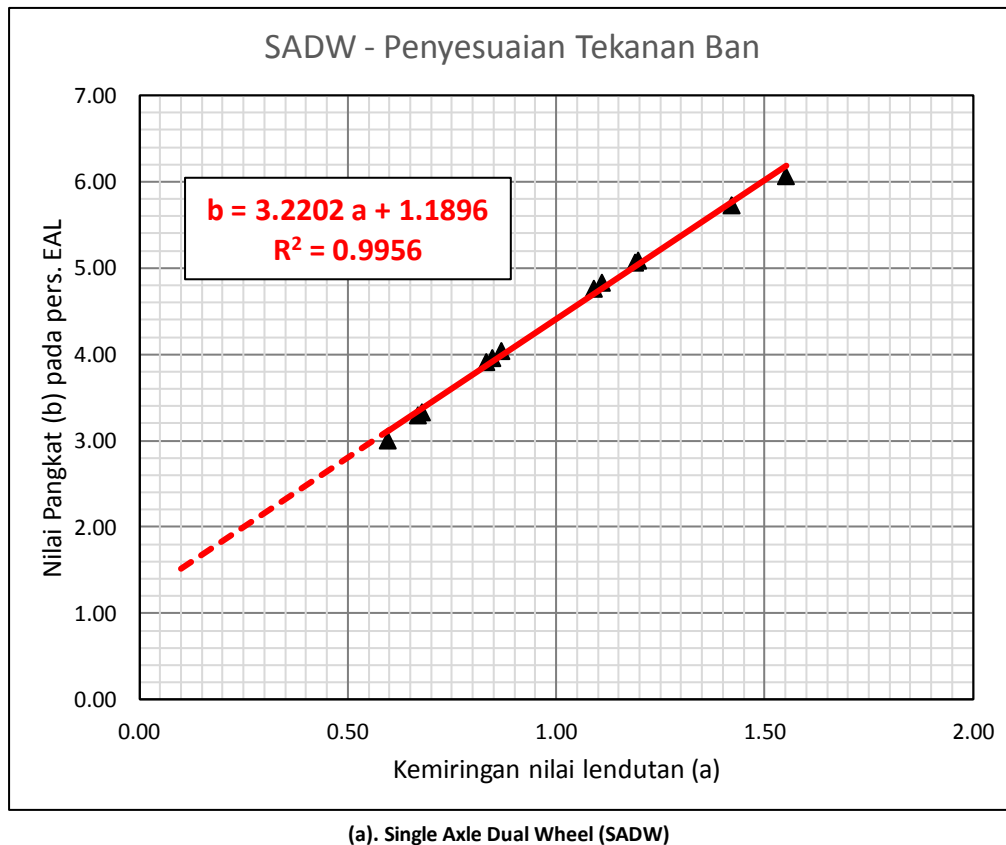


Gambar 4.30. Ilustrasi bunga antara nilai peningkatan beban terhadap nilai lendutan dengan alat LVDT untuk as TADW

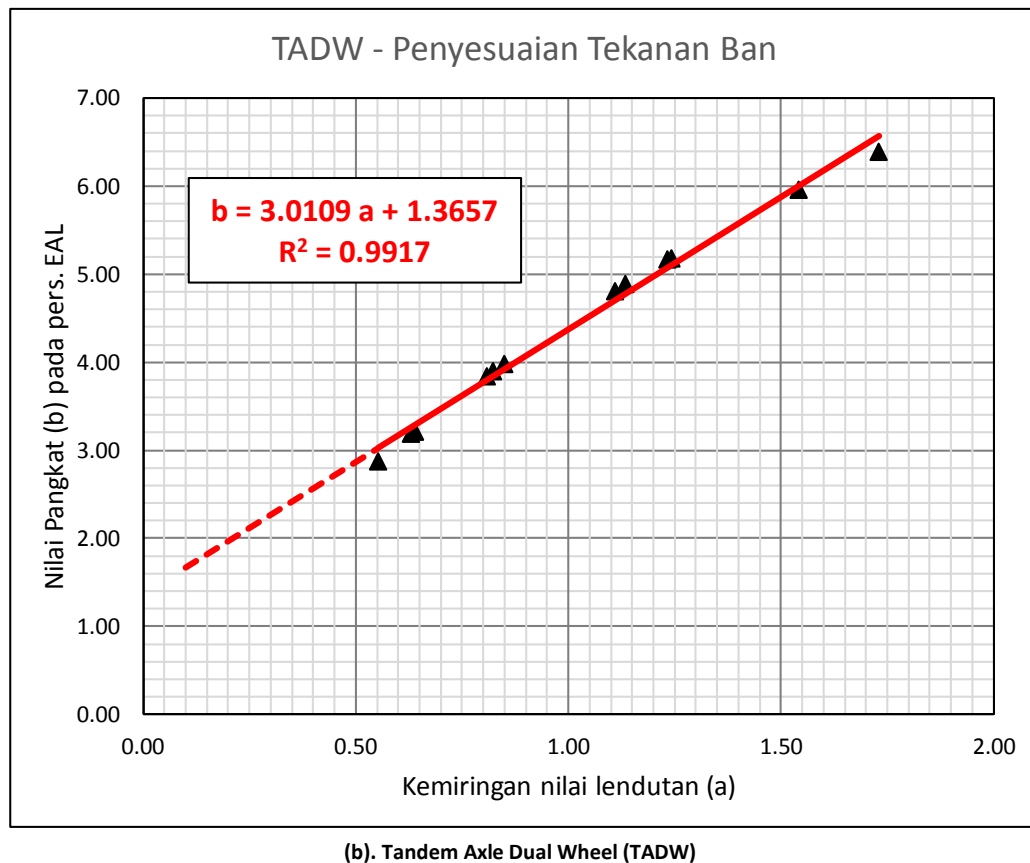
Pada persamaan garis linier, yaitu  $y = ax + b$ , besarnya nilai kemiringan (gradient) garis linier ditunjukkan oleh besarnya nilai “a”. Pada gambar tersebut terlihat jika nilai kemiringan garis linier (a) lebih besar dari satu atau di atas garis linier warna merah dengan nilai  $a = 1$ , maka nilai pangkat (b) pada persamaan EAL yang didapat adalah lebih besar daripada 4. Jika nilai kemiringan (a) mendekati atau sama dengan 1 (berhimpit dengan garis warna merah), maka nilai pangkat (b) pada

persamaan EAL adalah mendekati  $\approx 4$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai kemiringan (a) yang didapat, semakin besar nilai pangkat (b) pada persamaan EAL, dan sebaliknya. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai kemiringan lendutan (a) yang didapat, semakin besar nilai pangkat (b) pada persamaan EAL, dan begitu juga sebaliknya.

Berdasarkan data kemiringan garis linier regresi (a) dan nilai pangkat (b) pada Gambar 4.25 – 4.30, selanjutnya dicari hubungan antara nilai kemiringan regresi linier (a) dengan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL. Hubungan antara nilai kemiringan linier regresi (a) dengan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL dapat dilihat pada Gambar 4.31 dan 4.32.

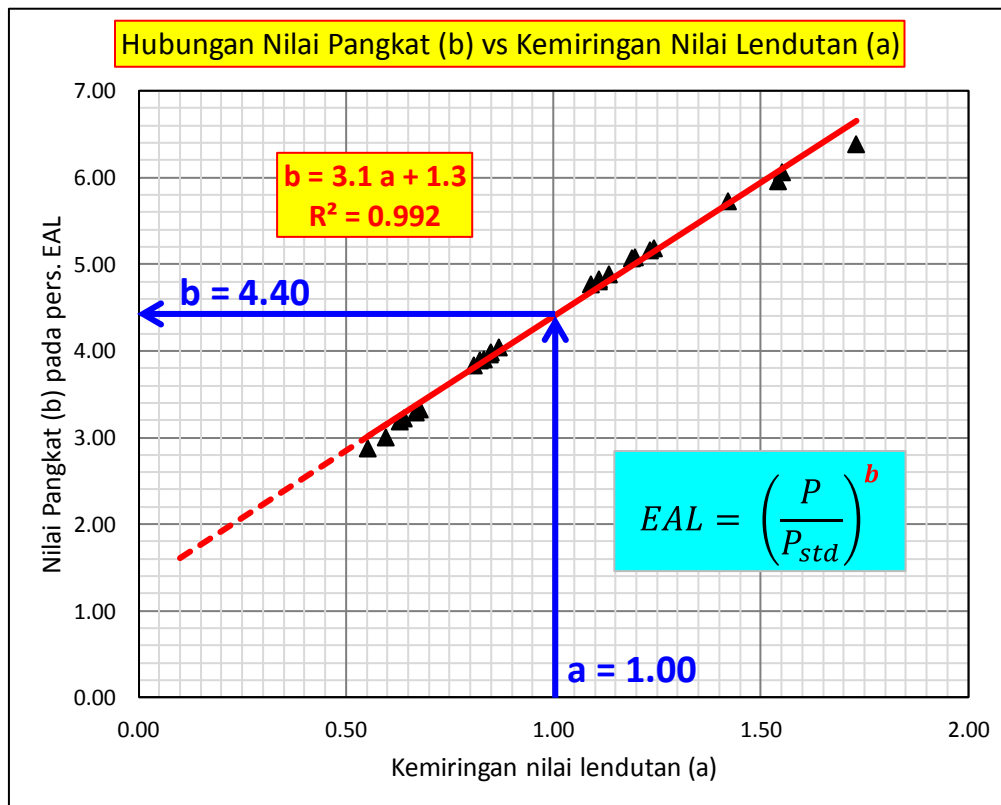


Gambar 4.31. Grafik hubungan antara kemiringan nilai lendutan (a) dengan nilai pangkat (b) untuk as SADW



Gambar 4.32. Grafik hubungan antara kemiringan nilai lendutan (a) dengan nilai pangkat (b) untuk as TADW

Pada Gambar 4.31 dan 4.32 terlihat nilai kemiringan lendutan (a) dan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL untuk as SADW maupun TADW mempunyai trend-line yang hampir sama, sehingga data untuk ke dua gambar tersebut dapat digabungkan. Hasil penggabungan data untuk mendapatkan hubungan antara nilai kemiringan linier regresi (a) dengan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33. Grafik hubungan antara kemiringan nilai lendutan (a) dengan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL

Dari Gambar 4.33 ditunjukkan bahwa semakin besar nilai kemiringan lendutan (a) perkerasan jalan akibat penambahan beban as kendaraan, semakin besar pula nilai pangkat (b) pada persamaan EAL, dan sebaliknya. Besarnya nilai kemiringan lendutan (a) yang equivalent dengan kondisi *elastic half space* adalah 1, karena besarnya nilai lendutan perkerasan jalan lentur berbanding lurus dengan beban as kendaraan. Kondisi ini akan sama dengan asumsi teori *fatigue cracking* dimana system lapisan perkerasan jalan dianggap sebagai system *elastic half space*. Berdasarkan persamaan hasil regresi pada Gambar 4.33, untuk nilai kemiringan (a) = 1, besarnya nilai pangkat (b) yang didapat adalah 4.39 atau dibulatkan menjadi 4.40. Nilai pangkat (b) tersebut berlaku untuk kedua jenis as SADW dan TADW. Jadi, berdasarkan asumsi tanah dan lapisan perkerasan sebagai *elastic halfspace* nilai pangkat (b) = 4.40 dapat digunakan untuk semua perencanaan struktur perkerasan jalan dengan beban kendaraan yang ter-regulasi dengan baik.

Pada kasus beban kendaraan yang overloaded dan untuk keamanan struktur dalam jangka panjang, besarnya nilai pangkat (b) disarankan lebih besar 4.40. Hal ini berdasarkan hasil survey yang dilakukan oleh Prastyanto (2012), dimana disebutkan 100% kendaraan berat yang mengangkut material bahan bangunan dengan beban yang overloaded. Dalam hal ini, penentuan nilai pangkat (b) tidak berdasarkan nilai 100% terhadap data kendaraan yang overloaded, namun nilai yang digunakan adalah 95% dengan asumsi hanya 5% kendaraan berat yang tidak overloaded. Nilai 95% tersebut dapat diasumsikan sebagai 95% percentile terhadap data-data yang digunakan untuk membentuk persamaan nilai pangkat (b) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.33. Dengan asumsi 95% percentile terhadap data-data set yang ada, besarnya nilai pangkat (b) yang didapat adalah 6.05 atau dibulatkan menjadi 6.00. Jadi untuk keamanan lapisan perkerasan dalam jangka panjang, disarankan digunakan nilai pangkat (b) = 6.00 untuk perencanaan struktur perkerasan jalan dimana penerepan aturan (regulasi) terhadap kendaraan berat yang overloaded masih belum bisa dilaksanakan secara maksimal.

Untuk membuktikan apakah nilai pangkat (b) = 6.00 yang disarankan sudah sesuai, tentunya dibutuhkan suatu penelitian lanjutan. Penelitian tersebut berkenaan dengan aplikasi penggunaan nilai pangkat (b) tersebut kedalam suatu perencanaan tebal struktur perkerasan jalan. Hasil perencanaan tersebut selanjutnya dilaksanakan di lapangan dan diteliti selama kurun waktu tertentu. Metode penelitian dan analisis yang dilakukan terhadap jalan yang diteliti adalah sama dengan metode dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini. Jika dari hasil penelitian tersebut didapatkan nilai kemiringan lengutan ( $a$ )  $< 1$  (asumsi *elastic half space*), maka penggunaan nilai pangkat (b) = 6.00 adalah terlalu besar atau over design. Sebaliknya, jika didapat nilai kemiringan ( $a$ )  $> 1$ , maka penggunaan nilai pangkat (b) = 6.00 sudah cukup sesuai. Namun selama penelitian tersebut belum ada, penggunaan nilai pangkat (b) = 6.00 tetap disarankan untuk dapat digunakan dalam perencanaan tebal struktur perkerasan jalan.

Berdasarkan ulasan di atas terlihat, nilai pangkat (b) yang didapat, yaitu 4.40 untuk beban as standar dan 6.00 untuk beban as overloaded, adalah lebih besar daripada nilai pangkat (b) pada persamaan EAL dalam pedoman Bina Marga (1989, 2005, 2013) yang didasarkan pada pendekatan teori *fatigue cracking*.

Persamaan pada Gambar 4.33 menunjukkan bahwa bila nilai lendutan perkerasan jalan lentur yang didapat menghasilkan nilai  $a > 1$ , maka nilai pangkat (b) pada persamaan EAL lebih besar daripada 4.40. Hal ini jelas membuktikan mengapa banyak perkerasan jalan yang dilalui truk berat cepat sekali mengalami kerusakan. Nilai pangkat (b) yang relatif tinggi memberikan bukti tentang cepatnya terjadinya kerusakan dini pada perkerasan jalan.

Dengan sendirinya salah satu cara untuk menanggulangi beban *overloaded* pada kendaraan berat adalah dengan merencanakan struktur perkerasan jalan lebih tebal dan lebih kaku dari rencana semula, sehingga didapatkan harga nilai pangkat (b) lebih kecil 4.40. Dengan nilai pangkat (b) = kecil, total kenyataan EAL yang sesungguhnya terjadi di lapangan jauh lebih kecil daripada total EAL rencana, sehingga umur jalan menjadi jauh lebih awet (lama). Kondisi tersebut telah terbukti pada perkerasan CRCP (*Countinuously Reinforced Concrete Pavement*) dimana umur rencana perkerasan jalan rata-rata 30 – 40 tahun, dan Asphaltic Pavement dengan tebal yang berlebih seperti di jalan askes menuju kawasan pabrik PT. SI dan New Zealand.

Untuk mendapatkan nilai pangkat (b) pada Gambar 4.33, data yang dibutuhkan adalah nilai kemiringan (a) lendutan akibat beban as kendaraan. Nilai a dapat dicari dengan melakukan uji lendutan perkerasan jalan lentur dengan berbagai variasi pembebanan. Berdasarkan pengalaman penelitian di lapangan, disarankan melakukan uji lendutan perkerasan jalan dengan menggunakan alat FWD. Alat tersebut relatif mudah untuk dimodifikasi, meskipun dibutuhkan tenaga ahli yang terampil untuk mengoperasikannya, dan kecepatan pelaksanaan di lapangan paling baik dibandingkan dengan alat BB dan LVDT.

#### **4.5. Penentuan Bentuk Persamaan Equivalent Axle Load (EAL)**

Dalam penentuan bentuk persamaan EAL, beberapa hal utama yang diperhatikan dalam penentuan bentuk persamaan adalah besarnya nilai pangkat (b) sangat dipengaruhi oleh besar nilai kemiringan lendutan (a) akibat beban as kendaraan, dan besarnya nilai kemiringan lendutan (a) sangat dipengaruhi oleh daya dukung struktur perkerasan jalan secara keseluruhan, maka bentuk persamaan EAL yang diusulkan untuk perencanaan jalan lentur adalah sebagai berikut :

1. Untuk perencanaan struktur perkerasan jalan lentur dimana penerapan aturan batasan muatan dapat dilaksanakan secara maksimal :

- Jenis *Single Axle Dual Wheel* (SADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{8.16} \right)^{4.40} \dots\dots\dots (4.8)$$

- Jenis *Tandem Axle Dual Wheel* (TADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4.40} \dots\dots\dots (4.9)$$

2. Untuk perencanaan struktur perkerasan jalan lentur dimana penerapan aturan batasan muatan tidak dapat dilaksanakan secara maksimal :

- Jenis *Single Axle Dual Wheel* (SADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{8.16} \right)^{6.00} \dots\dots\dots (4.10)$$

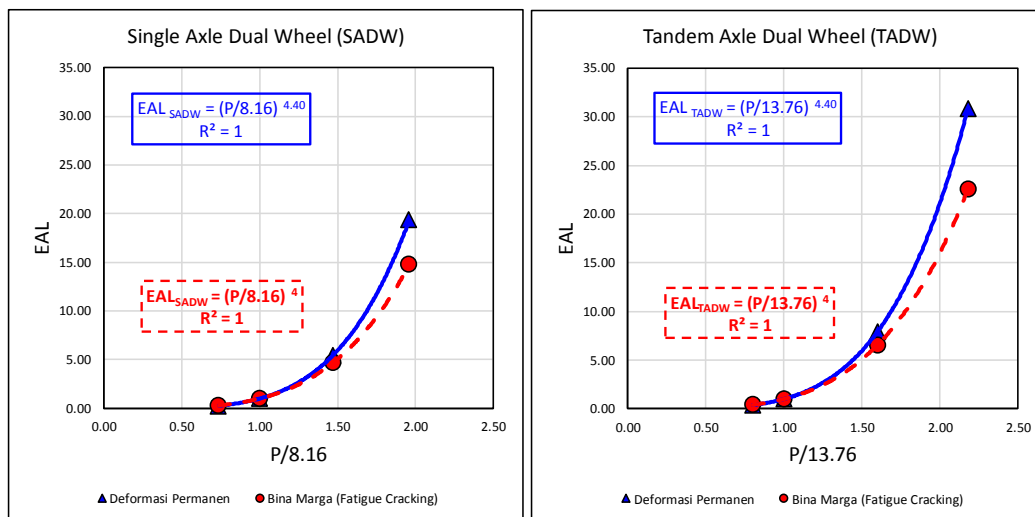
- Jenis *Tandem Axle Dual Wheel* (TADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{6.00} \dots\dots\dots (4.11)$$

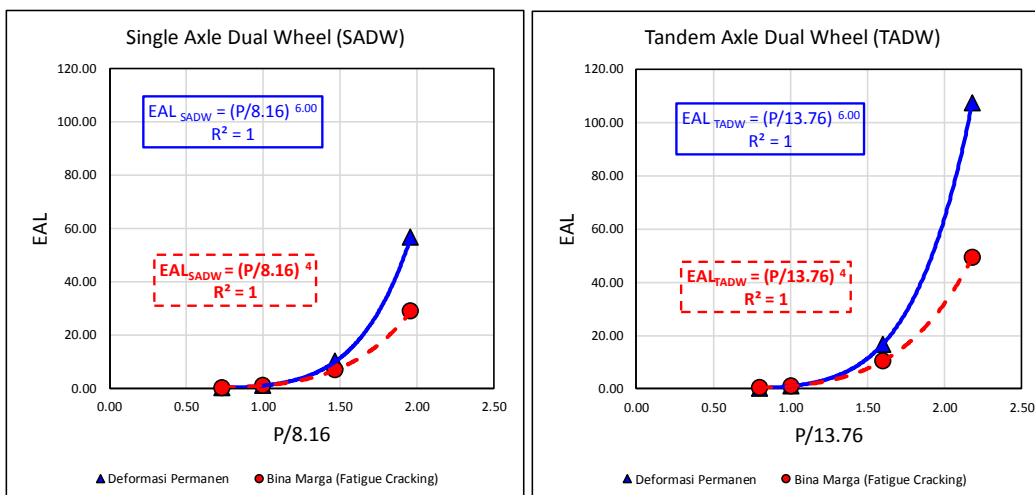
Setelah mendapatkan nilai pangkat (b) untuk persamaan EAL, langkah berikutnya adalah mengetahui sejauh mana perbedaan nilai EAL yang didapat dari pendekatan teori fatigue cracking dan permanent deformation. Dengan memasukkan data variasi pembebanan untuk as SADW dan TADW kedalam Persamaan 4.8 dan 4.9 untuk as SADW, dan Persamaan 4.10 dan 4.11 untuk as TADW, selanjutnya akan diketahui sejauh mana perbedaannya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.34 dan 4.35.

Pada Gambar 4.34 dan 4.35 terlihat dengan jelas bahwa nilai EAL untuk beban standar ke bawah ( $P \leq$  beban standar) hampir tidak ada perbedaan antara yang berarti. Sebaliknya, untuk beban diatas beban standar ( $P >$  beban standar), persamaan EAL hasil penelitian yang didasarkan pada teori deformasi permanen menghasilkan nilai EAL yang jauh lebih besar daripada EAL Bina Marga (1989, 2005, 2013) yang didasarkan pada teori fatigue cracking. Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa perbedaan nilai EAL antara teori deformasi permanen dan fatigue cracking mulai terlihat dengan jelas ketika perbandingan antara beban as aktual

dengan beban as standar (untuk as SADW dan TADW) adalah sebesar 1.25 atau 125% terhadap beban as standar. Perbedaan akan jauh semakin besar jika beban yang diangkut melebihi 1.25 atau 125% diatas beban as standar. Kondisi tersebut membuktikan mengapa jalan-jalan, terutama pada perkerasan jalan lentur, yang dilalui kendaraan berat dengan beban yang overloaded cepat rusak sebelum akhir umur rencana jalan dicapai.



Gambar 4.34. Perbedaan persamaan EAL antara hasil penelitian dengan Bina Marga (1989, 2005, 2013) dengan nilai pangkat (b) = 4.40



Gambar 4.35. Perbedaan persamaan EAL antara hasil penelitian dengan Bina Marga (1989, 2005, 2013) dengan nilai pangkat (b) = 6.00



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian di lapangan dan analisis data, maka beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan adalah :

1. Meskipun faktor tekanan ban berpengaruh terhadap nilai EAL, namun faktor utama yang sangat berpengaruh dalam perhitungan nilai EAL adalah nilai lendutan perkerasan jalan. Akan tetapi karena tekanan ban pada umumnya di lapangan selalu disesuaikan dengan beban as kendaraan yang dimuat, maka faktor beban as kendaraan juga berpengaruh terhadap nilai EAL.
2. Besarnya nilai pangkat (b) pada persamaan EAL untuk semua jenis as kendaraan dapat dihitung dengan persamaan  $b = 3.1 a + 1.3$ , dimana a adalah kemiringan (gradient) nilai lendutan perkerasan jalan akibat beban as kendaraan.
3. Persamaan pada Butir 2 menunjukkan bahwa bila nilai lendutan perkerasan jalan lentur yang didapat menghasilkan nilai a lebih besar 1, maka nilai pangkat (b) pada persamaan EAL lebih besar daripada 4.40. Hal ini jelas membuktikan mengapa banyak perkerasan jalan yang dilalui truk berat cepat sekali mengalami kerusakan. Nilai pangkat (b) yang relatif tinggi memberikan bukti tentang cepatnya terjadinya kerusakan dini pada perkerasan jalan.
4. Bentuk persamaan EAL yang disarankan untuk perencanaan struktur perkerasan jalan dibagi dalam dua kondisi, yaitu
  - a. Untuk perencanaan struktur perkerasan jalan lentur dimana penerapan aturan batas muatan dapat dilaksanakan secara maksimal :

➤ Jenis *Single Axle Dual Wheel* (SADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{8.16} \right)^{4.40} \dots\dots\dots (5.1)$$

➤ Jenis *Tandem Axle Dual Wheel* (TADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{4.40} \dots\dots\dots (5.2)$$

b. Untuk perencanaan struktur perkerasan jalan lentur dimana penerapan aturan batas muatan tidak dapat dilaksanakan secara maksimal :

➤ Jenis *Single Axle Dual Wheel* (SADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{8.16} \right)^{6.00} \dots\dots\dots (5.3)$$

➤ Jenis *Tandem Axle Dual Wheel* (TADW)

$$EAL = \left( \frac{P}{13.76} \right)^{6.00} \dots\dots\dots (5.4)$$

5. Perbedaan nilai EAL antara teori deformasi permanen dan *fatigue cracking* mulai terlihat dengan jelas ketika perbandingan antara beban as aktual dengan beban as standar (untuk as SADW dan TADW) adalah sebesar 1.25 atau 125% terhadap beban as standar. Perbedaan akan jauh semakin besar jika beban yang diangkut melebihi 1.25 atau 125% diatas beban as standar. Kondisi tersebut membuktikan mengapa jalan-jalan, terutama pada perkerasan jalan lentur, yang dilalui kendaraan berat dengan beban yang overloaded cepat rusak sebelum akhir umur rencana jalan dicapai.

## 5.2. Saran

Dari hasil penelitian di lapangan dan analisis data, maka beberapa saran yang dapat disampaikan adalah :

1. Salah satu cara untuk menanggulangi beban overloading pada kendaraan (truk) berat adalah dengan merencanakan struktur perkerasan jalan lebih tebal dan lebih kaku dari rencana semula, sehingga didapatkan harga nilai pangkat (b) yang lebih kecil dari 4.40. Dengan nilai pangkat (b) kecil, total kenyataan EAL yang sesungguhnya di lapangan jauh lebih kecil daripada total EAL rencana, sehingga umur jalan menjadi jauh lebih awet (lama). Kondisi tersebut telah terbukti pada perkerasan CRCP (*Countinuously Reinforced Concrete Pavement*) dimana umur rencana perkerasan jalan rata-rata 30 – 40 tahun dan Asphaltic Pavement dengan tebal yang berlebih.
2. Diusulkan untuk perencanaan perkerasan jalan di Indonesia digunakan persamaan EAL dengan nilai pangkat (b) pada persamaan EAL adalah 4.40 jika penerapan aturan batas muatan dapat dilaksanakan secara maksimal dan jika

penerapan aturan batas muatan tidak dapat dilaksanakan secara maksimal, nilai pangkat (b) disarankan menggunakan 6.00.

3. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut berkenaan dengan aplikasi penggunaan nilai pangkat (b) = 6.00 kedalam suatu perencanaan tebal struktur perkerasan jalan dan diaplikasikan di lapangan. Hasil penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan seberapa besar nilai pangkat (b) sesungguhnya.
4. Untuk mendapatkan kemiringan nilai (a) lendutan perkerasan jalan lentur disarankan melakukan uji lendutan perkerasan jalan dengan menggunakan alat FWD. Alat tersebut relatif mudah untuk dimodifikasi dan kecepatan pelaksanaan di lapangan paling baik dibandingkan dengan alat BB dan LVDT, meskipun dibutuhkan tenaga ahli yang terampil untuk mengoperasikannya,.
5. Mengingat hasil penelitian hanya untuk as SADW dan TADW sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan persamaan EAL untuk jenis as *Triple Axle Dual Wheel* (TrAXD).
6. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada perkerasan yang lebih kaku daripada yang disyaratkan, misalnya pada perkerasan beton, atau pada perkerasan di taxiway atau runway.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (1972), *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- Asphalt Institute, (1983), *Asphalt Overlay for Highway and Street Rehabilitation*, Manual Series No. 17 (MS-17).
- AUSTROADS, (1992), *Pavement Design*, Sydney, Australia.
- Bina Marga (2013), *Manual Desain Perkerasan (No. 02/M/BM/2013)*, Kementerian Pekerjaan Umum
- Bina Marga (2005), *Cara Uji Lendutan Perkerasan Lentur Dengan Alat Benkelman Beam (SNI 2416:2011)*, Departemen Pekerjaan Umum
- Bina Marga (2005), *Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur Dengan Metode Lendutan Lendutan (Pd T-05-2005-B)*, Departemen Pekerjaan Umum
- Bina Marga (1989), *Tata Cara Perencanaan Tebal Perkerasan dengan Analisa Komponen (SNI 03-1732-1989)*, Departemen Pekerjaan Umum
- Bina Marga (1983), *Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur Dengan Metode Lendutan Lendutan (No. 01/MN/B/1983)*, Departemen Pekerjaan Umum
- Danida dan Pusat Litbang Jalan (1990). *Study of Improved Bearing Capacity Evaluation and Strengthenen Design of Road*. Technical Report No. 2. FWD Calibration, Bandung: Puslitbang P.U.
- Department of Transport (1997), *The Dmaging Effects of Overloaded Heavy Vehicles on Roads*, Directorate : Traffic Control, Republic of South Africa
- Febrianto, Alfa dan Mochtar, I.B, (1994), *Usulan Perbaikan Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Cara Bina Marga*, Tugas Akhir S-1, Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Firdaus, 1999, “Analisis Dampak Negatif Beban Berlebih (Overload) terhadap Perkerasan Jalan, Pekanbaru”. *Prosiding Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-6 Wilayah Barat*, 11-13, November.
- Huang, H Yang, (2004), *Pavement Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey
- Irmawan, Eri dan Mochtar, I.B, (1990), *Studi Korelasi Angka Ekiwalen Beban-Beban As Kendaraan Ditinjau dari Dampak Kerusakan Jalan dengan Memasukkan Kondisi Subgrade Jalan*. Tugas Akhir S-1. Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.

- Lubis, Z dan Mochtar, IB, (2009), *Evaluasi Rumusan Damage Faktor Dalam Perencanaan Sistem Perkerasan Lentur Jalan Raya Akibat Adanya Muatan Berlebih (Studi Kasus Jalan di Daerah Babat, Lamongan Jawa Timur*, Tesis Program Magister, Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS.
- Machemehl, R.B., Wang, F. and Prozzi, J.A. (2005). "Analytical Study of Effects of Truck Tire Pressure on Pavements with Measured Tire-Pavement Contact Stress Data". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1919, pages 111-119
- Mochtar, Indrasurya B. (1999.a). "Konsekuensi Muatan Berlebihan Kendaraan Berat Bagi Batas Stabilitas Marshall Perkerasan Jalan Aspal di Indonesia", *Prosiding Simposium II FSTPT*, 2 Desember, Surabaya.
- Mochtar, Indrasurya B. (1999.b). *Penelitian dan Pemrosesan Data Teknik Jalan*, Laporan Penelitian di Lapangan untuk Bina Marga Jawa Timur.
- Mochtar, Indrasurya B. (1991). *Evaluasi Kerusakan Dini Perkerasan Jalan Tol Surabaya-Gempol*, Laporan Akhir, PT. Jasa Marga.
- Mochtar, Indrasurya B. (1990). "Masalah Kerusakan Dini (Premature Deterioration) pada Jalan-Jalan Raya di Indonesia", *Prosiding Lokakarya tentang Jembatan-Timbang*, 23 Maret, Surabaya
- Prastyanto, C, A., dkk, (2012), *Perencanaan Jalan Akses Pabrik Semen Tuban*, PT. Semen Gresik, Tuban, Jawa Timur.
- Sutikno, Sentot dan Mochtar, IB, (1991), *Studi Lapangan Tentang Pengaruh Beban Gandar dan Temperatur Terhadap Lendutan Perkerasan Jalan Tol Surabaya-Gempol*, Tugas Akhir S-1 ITS. Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS, Surabaya.
- Ullidtz, Per. (1987). *Pavement Analysis*, Development in Civil Engineering, Elsevier, Amsterdam.
- Uzan, Jacob, (2004), "Permanent Deformation in Flexible Pavements", *Journal of Transportation Engineering*, 130:6-13.
- Yoder, EJ & Witczak, MW, (1975), *Principles of Pavement Design*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Willey & Sons, USA

# *Lampiran*

**HASIL PENGUJIAN LENDUTAN DENGAN ALAT  
FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD)**



**Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → Pengujian Pertama**

**Lokasi : Jalan Akses (Khusus)**

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	38	1	422.00	61.21	29.83	3.04	112.60	57.70	53.80	50.70	48.80	43.60	32.40
		2	601.00	87.17	42.50	4.33	133.70	83.10	77.70	73.60	70.70	63.30	47.90
		3	989.00	143.44	69.87	7.12	175.00	133.50	127.50	120.10	114.90	103.80	78.00
2	38	4	418.00	60.63	29.53	3.01	124.60	57.00	53.30	50.40	48.40	43.20	33.30
		5	598.00	86.73	42.26	4.31	137.80	82.00	77.10	73.50	69.50	62.20	47.00
		6	989.00	143.44	69.93	7.13	179.70	133.10	125.90	120.00	113.90	102.00	76.70
3	38	7	423.00	61.35	29.89	3.05	112.80	60.00	55.70	52.30	51.50	44.70	33.40
		8	597.00	86.59	42.22	4.31	132.40	81.70	76.40	72.50	70.00	61.90	46.50
		9	982.00	142.43	69.38	7.07	181.20	135.50	128.30	121.30	117.30	104.30	79.40
4	38	10	418.00	60.63	29.57	3.02	108.20	57.80	53.80	50.10	48.50	42.50	31.80
		11	598.00	86.73	42.26	4.31	132.60	81.60	76.70	72.30	68.90	61.80	46.70
		12	971.00	140.83	68.62	7.00	177.30	133.80	127.10	119.50	114.50	102.80	77.90
5	38	13	421.00	61.06	29.78	3.04	102.70	58.10	53.80	50.80	48.90	43.20	32.50
		14	597.00	86.59	42.20	4.30	137.20	84.60	79.70	75.20	71.90	64.50	49.70
		15	981.00	142.28	69.31	7.07	179.80	133.60	126.70	118.10	114.20	101.90	76.30
6	38	16	421.00	61.06	29.72	3.03	105.00	58.40	54.00	50.90	48.90	43.60	33.30
		17	598.00	86.73	42.27	4.31	134.80	82.80	77.30	72.90	70.00	62.30	47.10
		18	986.00	143.01	69.70	7.11	177.70	133.00	126.40	118.90	114.30	102.20	76.60
7	38	19	421.00	61.06	29.74	3.03	102.10	58.60	54.10	51.00	49.20	43.60	32.80
		20	594.00	86.15	41.95	4.28	130.90	81.80	76.50	72.30	69.80	61.60	46.60
		21	985.00	142.86	69.59	7.10	180.20	132.80	126.10	119.80	115.80	101.80	76.90

**Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → Pengujian Pertama**

**Lokasi : Arteri**

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	56	1	395.00	57.29	27.92	2.85	412.90	235.90	199.60	147.30	114.00	63.40	25.30
		2	578.00	83.83	40.86	4.17	505.30	312.60	265.10	197.60	153.30	86.70	37.30
		3	960.00	139.24	67.82	6.92	631.80	479.70	411.20	311.80	244.10	141.40	61.30
2	56	4	392.00	56.85	27.73	2.83	304.30	224.90	187.80	141.40	105.00	56.60	22.20
		5	578.00	83.83	40.86	4.17	399.10	311.60	263.50	200.90	151.20	85.10	36.20
		6	960.00	139.24	67.84	6.92	619.50	478.90	409.10	314.70	241.20	138.50	58.60
3	56	7	387.00	56.13	27.34	2.79	291.70	219.20	182.30	138.10	103.30	55.20	23.00
		8	576.00	83.54	40.70	4.15	370.40	308.60	260.20	198.90	150.60	84.70	34.00
		9	956.00	138.66	67.56	6.89	656.10	474.00	404.00	313.20	240.30	139.30	60.90
4	56	10	391.00	56.71	27.60	2.81	305.30	229.30	193.30	145.10	109.50	60.00	24.60
		11	575.00	83.40	40.64	4.14	362.50	311.40	264.30	200.70	151.90	85.10	34.30
		12	945.00	137.06	66.78	6.81	656.40	478.30	410.00	316.10	243.40	141.40	61.60
5	56	13	391.00	56.71	27.66	2.82	336.90	224.70	189.30	141.80	106.40	58.40	23.50
		14	576.00	83.54	40.68	4.15	377.20	310.80	263.80	200.10	152.10	85.40	36.00
		15	946.00	137.21	66.85	6.82	620.20	475.90	407.80	313.40	242.10	139.10	59.80
6	56	16	388.00	56.27	27.45	2.80	326.40	221.50	186.90	140.30	109.30	56.40	23.70
		17	575.00	83.40	40.63	4.14	363.00	310.90	263.40	200.90	153.30	85.20	36.60
		18	945.00	137.06	66.80	6.81	599.90	476.20	408.20	314.80	244.00	141.20	62.40
7	56	19	390.00	56.56	27.53	2.81	335.80	228.50	193.20	147.40	106.30	63.60	26.00
		20	574.00	83.25	40.59	4.14	352.70	311.90	264.20	201.40	154.30	86.90	37.50
		21	948.00	137.50	67.00	6.83	607.60	476.10	406.90	313.70	243.80	140.40	61.20

**Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → Pengujian Pertama**

**Lokasi : Kolektor 1**

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	52	1	389.00	56.42	27.50	2.80	492.80	318.40	250.00	178.60	140.80	96.90	60.50
		2	573.00	83.11	40.47	4.13	572.70	419.30	334.80	246.20	195.50	137.80	88.70
		3	947.00	137.35	66.90	6.82	701.60	650.60	529.20	390.90	316.90	223.30	144.90
2	52	4	390.00	56.56	27.53	2.81	485.60	302.20	237.70	172.10	135.20	95.30	61.80
		5	572.00	82.96	40.45	4.12	600.10	419.70	336.70	247.90	196.90	139.60	92.40
		6	952.00	138.08	67.31	6.86	723.50	641.20	524.00	394.00	315.00	225.30	147.70
3	52	7	390.00	56.56	27.59	2.81	494.40	304.20	239.60	173.20	134.80	96.90	64.40
		8	572.00	82.96	40.40	4.12	597.40	417.50	338.80	252.30	200.00	142.50	93.30
		9	950.00	137.79	67.14	6.85	655.10	640.10	526.00	397.00	316.20	226.80	149.20
4	52	10	391.00	56.71	27.64	2.82	379.50	305.00	241.10	175.10	137.10	97.60	63.60
		11	571.00	82.82	40.38	4.12	448.00	419.90	338.30	250.30	196.50	140.50	92.60
		12	953.00	138.22	67.33	6.87	765.10	646.10	526.60	397.40	319.20	225.50	151.40
5	52	13	389.00	56.42	27.52	2.81	483.90	300.30	240.00	172.80	134.80	96.80	63.20
		14	571.00	82.82	40.35	4.11	581.00	420.20	339.00	249.70	197.20	140.50	91.90
		15	953.00	138.22	67.33	6.87	671.60	643.00	528.10	398.50	317.30	227.00	151.00
6	52	16	389.00	56.42	27.50	2.80	462.90	302.30	240.00	174.00	136.70	97.00	62.60
		17	571.00	82.82	40.35	4.11	596.50	420.70	340.50	250.50	197.30	141.20	92.70
		18	953.00	138.22	67.33	6.87	689.80	641.00	528.20	397.50	317.00	227.50	149.20
7	52	19	388.00	56.27	27.43	2.80	466.80	300.10	238.40	172.10	135.50	96.10	62.90
		20	572.00	82.96	40.45	4.12	579.40	419.70	340.40	250.10	196.80	140.90	91.80
		21	946.00	137.21	66.85	6.82	746.50	640.30	525.60	396.70	316.40	226.20	149.00

**Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → Pengujian Pertama**

**Lokasi : Kolektor 2**

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	54.5	1	390.00	56.56	27.57	2.81	643.10	476.60	313.40	163.80	106.20	58.20	31.90
		2	570.00	82.67	40.31	4.11	774.20	578.50	398.90	224.70	153.10	89.20	49.30
		3	936.00	135.76	66.15	6.75	934.80	844.70	610.30	372.30	260.10	158.70	91.00
2	54.5	4	391.00	56.71	27.62	2.82	574.70	432.20	298.60	155.70	100.20	57.00	34.90
		5	569.00	82.53	40.24	4.10	738.50	570.20	410.50	233.00	157.60	92.10	53.20
		6	943.00	136.77	66.62	6.79	881.70	845.20	623.30	377.80	266.70	160.10	93.80
3	54.5	7	392.00	56.85	27.73	2.83	563.60	430.30	298.40	158.80	107.10	57.10	37.30
		8	569.00	82.53	40.22	4.10	716.80	567.50	409.90	232.70	161.60	91.20	55.70
		9	947.00	137.35	66.93	6.82	859.10	841.50	621.10	377.50	270.30	160.90	96.10
4	54.5	10	391.00	56.71	27.62	2.82	571.50	424.90	296.10	160.00	109.30	54.00	36.70
		11	570.00	82.67	40.29	4.11	710.60	565.00	408.80	236.00	162.50	90.30	55.70
		12	935.00	135.61	66.08	6.74	861.90	830.90	617.80	380.90	273.10	159.50	97.20
5	54.5	13	390.00	56.56	27.59	2.81	543.40	433.60	293.20	164.00	107.50	53.60	35.10
		14	570.00	82.67	40.29	4.11	700.70	574.60	408.20	238.70	161.20	90.50	55.20
		15	942.00	136.63	66.55	6.79	874.90	846.40	617.30	386.70	272.50	158.70	98.50
6	54.5	16	392.00	56.85	27.67	2.82	550.20	432.90	294.60	162.80	108.30	54.00	35.70
		17	569.00	82.53	40.22	4.10	696.40	573.10	407.50	240.20	162.50	89.90	54.10
		18	943.00	136.77	66.64	6.80	867.70	854.90	618.60	385.90	273.70	160.90	95.40
7	54.5	19	388.00	56.27	27.43	2.80	529.90	426.20	290.20	160.50	107.10	53.40	36.90
		20	567.00	82.24	40.08	4.09	709.40	571.30	405.40	237.70	162.20	87.60	55.90
		21	941.00	136.48	66.52	6.78	885.60	841.80	615.80	385.80	274.40	157.00	96.90

Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → *Pengujian Kedua*

Lokasi : Jalan Akses (Khusus)

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)					
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D3	D4	D5	D6	D7
1	37	1	553.00	80.21	39.11	3.99	135.00	70.00	67.10	65.10	59.40	52.90
		2	1181.00	171.29	83.47	8.51	218.60	153.30	147.70	143.10	131.20	117.50
		3	1283.00	186.08	90.65	9.24	227.70	165.20	158.80	154.10	141.10	126.60
		4	1424.00	206.53	100.66	10.26	394.60	183.00	176.20	171.10	156.50	140.30
2	37	5	541.00	78.47	38.26	3.90	152.30	70.90	67.90	66.40	61.00	54.00
		6	1175.00	170.42	83.04	8.47	224.60	151.30	145.50	142.20	130.50	117.00
		7	1271.00	184.34	89.81	9.16	239.80	163.90	157.90	153.30	140.00	124.70
		8	1426.00	206.82	100.82	10.28	315.20	181.80	175.10	169.60	155.30	139.40
3	37	9	538.00	78.03	37.99	3.87	126.90	67.30	61.50	63.20	58.00	52.00
		10	1168.00	169.40	82.56	8.42	216.20	151.10	145.10	141.60	129.20	116.20
		11	1265.00	183.47	89.44	9.12	238.80	163.20	158.90	152.70	139.20	125.00
		12	1418.00	205.66	100.22	10.22	385.00	181.70	175.30	169.50	155.60	139.40
4	37	13	533.00	77.31	37.68	3.84	131.10	67.90	60.90	64.40	57.10	52.10
		14	1167.00	169.26	82.51	8.41	225.70	149.20	143.00	138.90	127.60	113.80
		15	1265.00	183.47	89.40	9.12	229.30	163.50	161.90	151.60	140.00	124.70
		16	1408.00	204.21	99.49	10.15	255.80	181.40	178.30	169.00	154.40	139.00
5	37	17	529.00	76.72	37.36	3.81	135.70	68.10	59.70	64.70	57.80	53.10
		18	1164.00	168.82	82.26	8.39	224.20	151.00	143.10	141.30	128.50	115.20
		19	1261.00	182.89	89.10	9.09	231.30	163.10	161.20	151.90	139.20	125.00
		20	1399.00	202.91	98.88	10.08	238.90	181.70	178.70	169.00	155.50	139.20
6	37	21	529.00	76.72	37.39	3.81	143.60	65.90	58.40	64.00	56.30	51.10
		22	1156.00	167.66	81.70	8.33	229.90	150.40	143.50	140.80	128.10	115.00
		23	1254.00	181.88	88.66	9.04	241.30	162.60	161.10	150.50	138.70	124.30
		24	1404.00	203.63	99.24	10.12	272.10	180.90	176.50	168.60	154.40	138.70

Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → *Pengujian Kedua*

Lokasi : Jalan Arteri

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	60	1	504.00	73.10	35.59	3.63	529.90	262.10	218.70	164.30	122.00	64.80	37.90
		2	1121.00	162.59	79.26	8.08	779.00	530.40	454.10	351.80	270.80	156.70	94.50
		3	1216.00	176.37	85.98	8.77	853.40	565.70	485.00	377.90	292.00	169.30	102.30
		4	1364.00	197.83	96.42	9.83	917.50	622.10	535.90	419.50	324.60	190.10	115.40
2	60	5	503.00	72.95	35.55	3.63	531.30	263.10	221.50	165.20	124.10	67.80	40.10
		6	1117.00	162.01	78.94	8.05	793.40	528.20	455.10	351.30	270.80	157.10	95.20
		7	1216.00	176.37	85.94	8.76	828.90	563.50	486.40	376.50	291.60	170.00	102.80
		8	1369.00	198.56	96.75	9.87	908.90	621.90	538.10	418.00	325.00	191.60	116.70
3	60	9	505.00	73.24	35.68	3.64	534.00	255.60	214.00	158.80	119.70	64.10	37.40
		10	1125.00	163.17	79.54	8.11	824.40	524.20	450.80	347.60	269.00	154.70	93.60
		11	1225.00	177.67	86.58	8.83	835.70	560.90	484.30	375.20	291.60	169.70	103.40
		12	1380.00	200.15	97.51	9.94	941.00	617.50	533.90	414.80	324.60	190.50	115.80
4	60	13	501.00	72.66	35.38	3.61	555.60	258.00	220.40	163.70	122.00	66.60	37.30
		14	1116.00	161.86	78.89	8.04	747.80	530.10	456.60	351.30	272.30	158.70	96.80
		15	1208.00	175.21	85.41	8.71	829.80	562.40	484.40	374.40	290.60	169.80	103.00
		16	1360.00	197.25	96.13	9.80	939.60	624.60	530.90	412.30	323.90	188.90	119.60
5	60	17	499.00	72.37	35.29	3.60	548.90	265.30	222.60	165.60	123.70	67.50	39.40
		18	1114.00	161.57	78.71	8.03	835.00	531.40	455.50	350.00	270.60	157.20	96.90
		19	1208.00	175.21	85.41	8.71	838.80	565.30	484.10	373.10	290.20	169.80	104.40
		20	1362.00	197.54	96.27	9.82	979.50	627.10	530.70	407.40	321.10	187.40	119.70
6	60	21	503.00	72.95	35.55	3.63	527.50	261.30	217.30	160.40	122.10	64.70	39.70
		22	1122.00	162.73	79.33	8.09	828.20	527.80	450.50	344.90	269.10	154.30	95.70
		23	1222.00	177.24	86.38	8.81	832.40	563.00	482.50	371.80	289.00	169.40	103.40
		24	1377.00	199.72	97.32	9.92	987.10	620.60	529.30	405.40	319.20	186.50	118.30
7	60	25	500.00	72.52	35.34	3.60	540.90	269.00	221.90	163.00	129.80	65.80	41.40
		26	1114.00	161.57	78.74	8.03	808.30	529.90	452.30	347.70	274.00	156.80	96.60
		27	1208.00	175.21	85.35	8.70	858.00	561.40	481.30	371.80	290.00	169.50	103.20
		28	1359.00	197.11	96.03	9.79	987.40	618.70	529.60	408.00	320.60	187.60	117.00

Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → *Pengujian Kedua*

Lokasi : Jalan Kolektor 1

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	57.3	1	506.00	73.39	35.79	3.65	710.10	399.70	313.40	237.00	189.30	137.10	105.30
		2	1112.00	161.28	78.57	8.01	952.60	755.80	616.60	483.10	393.50	292.00	229.50
		3	1205.00	174.77	85.14	8.68	1012.60	802.30	661.00	520.80	427.10	318.60	251.60
		4	1346.00	195.22	95.14	9.70	1050.90	877.10	727.50	575.60	472.70	352.90	278.60
2	57.3	5	506.00	73.39	35.77	3.65	551.90	378.30	303.00	231.60	187.60	137.30	107.80
		6	1112.00	161.28	78.62	8.02	867.30	753.70	623.60	489.10	400.30	296.80	234.10
		7	1207.00	175.06	85.32	8.70	1032.00	801.20	665.70	525.00	429.20	319.00	251.90
		8	1353.00	196.24	95.64	9.75	1332.40	876.70	733.10	576.80	474.20	352.20	278.60
3	57.3	9	506.00	73.39	35.79	3.65	527.10	376.80	305.20	231.60	188.10	137.40	106.90
		10	1113.00	161.43	78.67	8.02	868.90	753.00	629.80	490.60	402.50	297.20	234.20
		11	1204.00	174.63	85.07	8.67	989.60	799.20	671.70	525.70	431.70	319.40	251.60
		12	1354.00	196.38	95.71	9.76	1218.00	874.10	735.80	575.20	476.10	353.60	279.70
4	57.3	13	503.00	72.95	35.54	3.62	527.80	376.30	302.30	231.00	187.90	137.60	107.20
		14	1108.00	160.70	78.28	7.98	866.00	756.00	628.70	490.40	402.70	298.10	234.50
		15	1200.00	174.05	84.82	8.65	1035.50	803.10	671.70	526.30	431.90	320.40	252.60
		16	1351.00	195.95	95.46	9.73	1282.60	881.60	736.00	577.00	477.10	354.30	280.70
5	57.3	17	502.00	72.81	35.45	3.61	502.70	375.50	302.60	230.50	187.40	137.00	106.70
		18	1108.00	160.70	78.32	7.99	794.20	755.70	628.80	489.90	402.70	298.20	234.40
		19	1201.00	174.19	84.88	8.66	1075.30	804.00	672.70	527.00	432.70	321.10	253.00
		20	1348.00	195.51	95.31	9.72	1287.60	880.00	735.50	578.00	476.80	354.60	281.00
6	57.3	21	500.00	72.52	35.36	3.61	529.70	373.60	302.90	229.10	187.20	136.60	107.00
		22	1106.00	160.41	78.20	7.97	842.60	754.60	628.50	492.00	403.30	298.40	234.40
		23	1200.00	174.05	84.81	8.65	1031.50	802.90	672.60	526.90	432.40	321.20	253.70
		24	1350.00	195.80	95.45	9.73	1329.40	876.60	735.50	576.20	477.30	354.30	280.40
7	57.3	25	501.00	72.66	35.40	3.61	512.10	371.20	302.20	230.20	187.10	136.70	106.90
		26	1107.00	160.56	78.24	7.98	807.00	752.60	630.10	492.80	403.90	298.60	234.90
		27	1199.00	173.90	84.74	8.64	984.20	800.40	672.50	527.30	432.40	321.10	253.30
		28	1341.00	194.50	94.78	9.66	1291.20	875.30	737.50	579.50	478.60	355.40	280.50

Hasil pengujian lendutan jalan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) → *Pengujian Kedua*

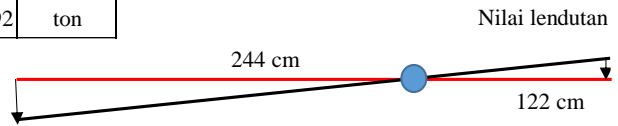
Lokasi : Jalan Kolektor 2

No. Test	Surface temp. (° C)	Drop ID	Stress		Force		Deflection (micron)						
			(kpa)	(psi)	(kN)	(ton)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	59	1	499.00	72.37	35.29	3.60	889.70	575.20	383.00	211.40	142.10	82.20	56.60
		2	1097.00	159.11	77.53	7.91	1199.80	1029.00	742.50	453.20	326.80	198.40	137.40
		3	1198.00	173.76	84.68	8.63	1290.20	1065.70	779.30	488.10	352.50	214.90	150.50
		4	1346.00	195.22	95.13	9.70	1460.40	1155.20	853.30	544.90	396.20	243.90	172.40
2	59	5	501.00	72.66	35.41	3.61	755.70	510.30	350.30	196.10	129.50	75.80	54.00
		6	1099.00	159.40	77.67	7.92	1142.00	990.80	723.20	456.60	325.10	205.60	139.90
		7	1195.00	173.32	84.46	8.61	1229.00	1051.80	771.80	489.70	354.60	222.40	152.80
		8	1341.00	194.50	94.75	9.66	1404.00	1157.60	852.80	548.80	398.50	254.50	174.90
3	59	9	498.00	72.23	35.17	3.59	772.90	505.10	348.50	195.00	127.70	75.60	51.90
		10	1101.00	159.69	77.83	7.94	1171.90	978.10	719.60	453.20	325.60	201.70	137.70
		11	1191.00	172.74	84.19	8.58	1260.20	1034.70	768.50	491.30	353.00	222.00	152.60
		12	1348.00	195.51	95.28	9.72	1341.20	1137.90	849.60	548.30	400.20	251.60	173.70
4	59	13	498.00	72.23	35.19	3.59	760.50	502.90	349.90	196.40	128.90	74.70	54.40
		14	1100.00	159.54	77.74	7.93	1169.70	970.50	720.20	452.70	326.50	203.10	137.90
		15	1193.00	173.03	84.29	8.60	1238.20	1027.90	770.70	490.80	355.00	219.20	151.80
		16	1337.00	193.92	94.47	9.63	1266.90	1130.20	846.90	546.50	398.70	246.60	171.80
5	59	17	495.00	71.79	34.99	3.57	764.20	512.80	350.80	198.00	132.00	73.50	52.70
		18	1105.00	160.27	78.07	7.96	1162.90	980.60	721.50	456.00	329.30	195.50	139.10
		19	1192.00	172.88	84.24	8.59	1171.70	1043.30	771.40	492.20	359.30	214.20	152.50
		20	1353.00	196.24	95.66	9.75	1269.90	1139.10	849.40	551.10	404.80	245.50	174.50

**HASIL PENGUJIAN LENDUTAN DENGAN ALAT  
BENGKLEMEN BEAM (BB)**

### LOKASI : JALAN AKSES (KHUSUS)

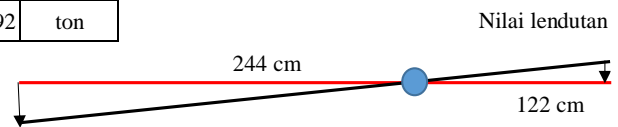
Berat total	17340	kg	17.34	ton
Berat as belakang	12920	kg	12.92	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	39	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.010	0.020	0.020	0.030	0.010	0.010	0.010			
	2	0.030	0.040	0.030	0.030	0.020	0.030	0.020			
	3	0.050	0.060	0.050	0.050	0.040	0.030	0.050			
	4	0.060	0.060	0.080	0.070	0.070	0.070	0.080			
	5	0.090	0.090	0.090	0.090	0.100	0.080	0.100			
	6	0.110	0.110	0.110	0.090	0.110	0.100	0.120			

### LOKASI : JALAN ARTERI

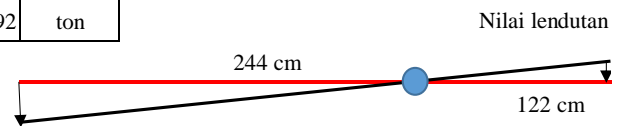
Berat total	17340	kg	17.34	ton
Berat as belakang	12920	kg	12.92	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	45	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.020	0.010	0.020	0.030	0.040	0.020	0.030			
	2	0.050	0.040	0.040	0.050	0.060	0.030	0.040			
	3	0.070	0.060	0.040	0.070	0.070	0.060	0.070			
	4	0.080	0.080	0.080	0.090	0.080	0.090	0.070			
	5	0.080	0.090	0.090	0.090	0.080	0.100	0.090			
	6	0.110	0.100	0.090	0.110	0.100	0.110	0.090			

### LOKASI : JALAN KOLEKTOR 1

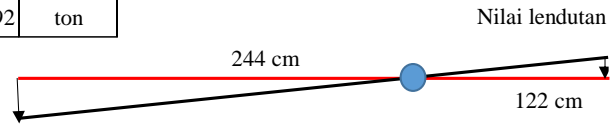
Berat total	17340	kg	17.34	ton
Berat as belakang	12920	kg	12.92	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	42	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.040	0.070	0.060	0.060	0.100	0.060	0.050			
	2	0.100	0.100	0.100	0.150	0.180	0.130	0.130			
	3	0.120	0.180	0.100	0.170	0.200	0.160	0.160			
	4	0.150	0.180	0.170	0.170	0.200	0.170	0.170			
	5	0.200	0.210	0.180	0.190	0.210	0.170	0.180			
	6	0.200	0.240	0.200	0.190	0.210	0.180	0.200			

### LOKASI : JALAN KOLEKTOR 2

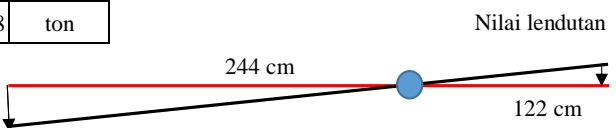
Berat total	17340	kg	17.34	ton
Berat as belakang	12920	kg	12.92	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	42	°C		



Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	1	0.100	0.090	0.120	0.110	0.110	0.090	0.100			
	2	0.110	0.130	0.130	0.140	0.220	0.160	0.120			
	3	0.150	0.160	0.170	0.160	0.300	0.170	0.150			
	4	0.170	0.180	0.170	0.160	0.310	0.170	0.190			
	5	0.190	0.180	0.200	0.170	0.340	0.170	0.190			
	6	0.200	0.210	0.190	0.210	0.350	0.200	0.220			

### LOKASI : JALAN AKSES (KHUSUS)

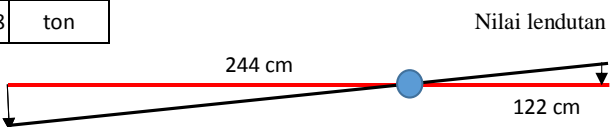
Berat total	23880	kg	23.88	ton
Berat as belakang	20180	kg	20.18	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	35	°C		



Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0	0	0	0	0	0	0			
	1	0.03	0.05	0.02	0.01	0.03	0.02	0.04			
	2	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03	0.05	0.04			
	3	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07			
	4	0.09	0.11	0.09	0.1	0.09	0.09	0.09			
	5	0.1	0.11	0.1	0.12	0.12	0.11	0.12			
	6	0.12	0.13	0.11	0.12	0.13	0.13	0.12			

### LOKASI : JALAN ARTERI

Berat total	23880	kg	23.88	ton
Berat as belakang	20180	kg	20.18	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	42	°C		



Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0	0	0	0	0	0	0			
	1	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04	0.06	0.07			
	2	0.1	0.09	0.12	0.09	0.08	0.12	0.12			
	3	0.12	0.11	0.13	0.12	0.14	0.15	0.14			
	4	0.15	0.14	0.15	0.12	0.16	0.15	0.17			
	5	0.18	0.15	0.16	0.17	0.18	0.16	0.18			
	6	0.19	0.17	0.17	0.19	0.18	0.19	0.18			

### LOKASI : JALAN KOLEKTOR 1

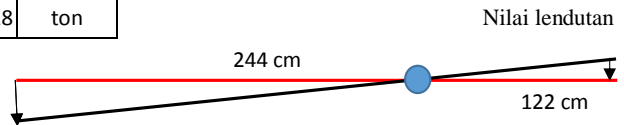
Berat total	23880	kg	23.88	ton
Berat as belakang	20180	kg	20.18	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	39	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.15	0.15	0.10	0.08	0.10	0.09	0.07			
	2	0.15	0.22	0.25	0.29	0.25	0.28	0.14			
	3	0.28	0.26	0.30	0.34	0.29	0.32	0.20			
	4	0.31	0.28	0.33	0.36	0.30	0.35	0.22			
	5	0.32	0.29	0.35	0.38	0.32	0.36	0.24			
	6	0.33	0.34	0.35	0.38	0.32	0.36	0.31			

### LOKASI : JALAN KOLEKTOR 2

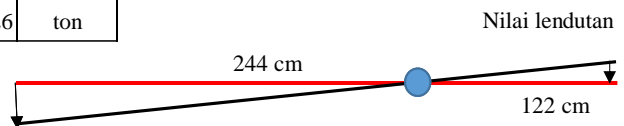
Berat total	23880	kg	23.88	ton
Berat as belakang	20180	kg	20.18	ton
Tekanan ban	150	psi		
Suhu perkerasan	39	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.09	0.06	0.08	0.07	0.09	0.08	0.07			
	2	0.12	0.14	0.12	0.10	0.12	0.14	0.10			
	3	0.21	0.23	0.20	0.20	0.19	0.20	0.19			
	4	0.32	0.35	0.31	0.30	0.29	0.27	0.30			
	5	0.35	0.35	0.37	0.34	0.35	0.33	0.34			
	6	0.41	0.39	0.40	0.42	0.38	0.41	0.40			

### LOKASI : JALAN AKSES (KHUSUS)

Berat total	33360	kg	33.36	ton
Berat as belakang	26260	kg	26.26	ton
Tekanan ban	180	psi		
Suhu perkerasan	37	°C		

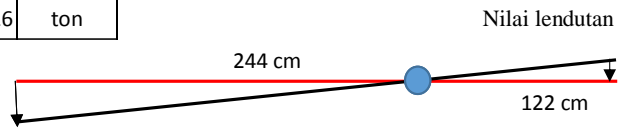


	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04			
	2	0.08	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08			
	3	0.10	0.11	0.12	0.09	0.08	0.09	0.11			
	4	0.13	0.12	0.14	0.11	0.12	0.11	0.12			
	5	0.14	0.15	0.16	0.14	0.15	0.14	0.14			
	6	0.15	0.16	0.17	0.16	0.15	0.14	0.16			



**LOKASI : JALAN ARTERI**

<b>Berat total</b>	33360	kg	33.36	ton
<b>Berat as belakang</b>	26260	kg	26.26	ton
<b>Tekanan ban</b>	180	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	40	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.08	0.07	0.08	0.10	0.08	0.07	0.10			
	2	0.20	0.18	0.19	0.17	0.10	0.15	0.18			
	3	0.22	0.25	0.21	0.20	0.12	0.17	0.20			
	4	0.26	0.26	0.21	0.20	0.13	0.20	0.21			
	5	0.26	0.26	0.21	0.20	0.15	0.26	0.24			
	6	0.27	0.26	0.22	0.21	0.18	0.28	0.25			

**LOKASI : JALAN KOLEKTOR 1**

<b>Berat total</b>	33360	kg	33.36	ton
<b>Berat as belakang</b>	26260	kg	26.26	ton
<b>Tekanan ban</b>	180	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	41	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.25	0.20	0.08	0.10	0.11	0.10	0.15			
	2	0.38	0.40	0.27	0.26	0.30	0.19	0.27			
	3	0.43	0.50	0.34	0.35	0.38	0.33	0.35			
	4	0.45	0.52	0.39	0.40	0.42	0.39	0.38			
	5	0.45	0.53	0.40	0.40	0.44	0.40	0.39			
	6	0.45	0.54	0.41	0.40	0.44	0.43	0.40			

**LOKASI : JALAN KOLEKTOR 2**

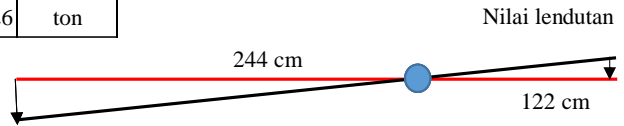
<b>Berat total</b>	33360	kg	33.36	ton
<b>Berat as belakang</b>	26260	kg	26.26	ton
<b>Tekanan ban</b>	180	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	42	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.10	0.08	0.10	0.09	0.08	0.07	0.09			
	2	0.13	0.14	0.12	0.15	0.17	0.14	0.30			
	3	0.25	0.29	0.23	0.24	0.19	0.23	0.19			
	4	0.37	0.40	0.41	0.38	0.40	0.38	0.30			
	5	0.46	0.47	0.41	0.38	0.43	0.44	0.43			
	6	0.52	0.53	0.55	0.49	0.50	0.52	0.51			

**LOKASI : JALAN AKSES (KHUSUS)**

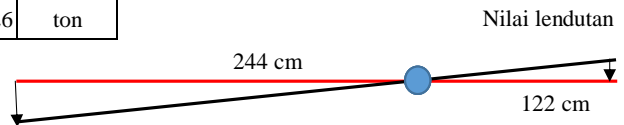
<b>Berat total</b>	43000	kg	43	ton
<b>Berat as belakang</b>	35260	kg	35.26	ton
<b>Tekanan ban</b>	180	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	36	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	0.08	0.05			
	2	0.10	0.09	0.11	0.09	0.08	0.08	0.11			
	3	0.13	0.12	0.14	0.12	0.14	0.13	0.14			
	4	0.15	0.16	0.18	0.17	0.17	0.18	0.17			
	5	0.19	0.20	0.19	0.19	0.20	0.20	0.19			
	6	0.20	0.21	0.19	0.21	0.22	0.20	0.19			

**LOKASI : JALAN ARTERI**

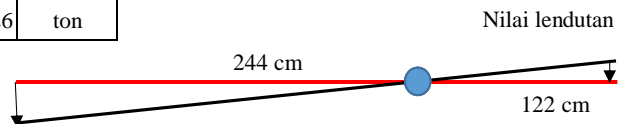
<b>Berat total</b>	43000	kg	43	ton
<b>Berat as belakang</b>	35260	kg	35.26	ton
<b>Tekanan ban</b>	180	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	37	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.09	0.10	0.07	0.11	0.07	0.09	0.12			
	2	0.18	0.20	0.19	0.19	0.17	0.19	0.17			
	3	0.21	0.22	0.23	0.22	0.19	0.21	0.19			
	4	0.26	0.24	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23			
	5	0.27	0.27	0.27	0.26	0.25	0.28	0.25			
	6	0.28	0.27	0.29	0.28	0.26	0.29	0.28			

**LOKASI : JALAN KOLEKTOR 1**

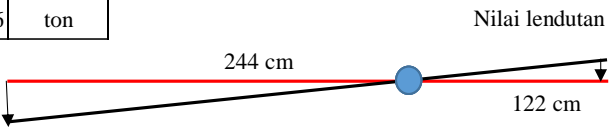
<b>Berat total</b>	43000	kg	43	ton
<b>Berat as belakang</b>	35260	kg	35.26	ton
<b>Tekanan ban</b>	180	psi		
<b>Suhu perkerasan</b>	40	°C		



	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.30	0.20	0.15	0.20	0.20	0.31	0.19			
	2	0.50	0.39	0.28	0.32	0.45	0.47	0.40			
	3	0.55	0.42	0.34	0.42	0.52	0.55	0.44			
	4	0.56	0.45	0.38	0.43	0.53	0.57	0.45			
	5	0.56	0.50	0.40	0.45	0.54	0.58	0.45			
	6	0.57	0.52	0.45	0.48	0.56	0.59	0.47			

**LOKASI : JALAN KOLEKTOR 2**

Berat total	43000	kg	43	ton
Berat as belakang	35260	kg	35.26	ton
Tekanan ban	180	psi		
Suhu perkerasan	36	°C		



Jarak Titik Bacaan Lendutan (meter)	No Test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	1	0.27	0.45	0.40	0.30	0.25	0.50	0.30			
	2	0.43	0.55	0.65	0.60	0.70	0.68	0.45			
	3	0.50	0.57	0.70	0.66	0.73	0.70	0.49			
	4	0.55	0.59	0.71	0.67	0.75	0.70	0.50			
	5	0.55	0.60	0.72	0.68	0.76	0.71	0.51			
	6	0.59	0.60	0.72	0.68	0.78	0.71	0.57			

**HASIL PENGUJIAN LENDUTAN DENGAN ALAT  
LINIER VARIABLE DISPLACEMENT TRANSDUCER (LVDT)**

**Lokasi : Jalan Akses (Khusus)**

No.	Berat total (ton)	Berat as belakang	Suhu (°C)	Tek. ban (psi)	No. LVDT	Jarak LVDT (mm)	Nilai Lendutan (mm)					
							Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 4	Uji ke 5	Rata-2
1	10.34	7.32	39.00	120.00	1	470	-0.150	-0.090	-0.130	-0.040	-0.030	-0.088
					2	670	-0.135	-0.085	-0.115	-0.035	-0.040	-0.082
					3	870	-0.100	-0.080	-0.100	-0.020	-0.020	-0.064
					4	1070	-0.090	-0.050	-0.080	0.010	-0.010	-0.044
2	12.36	8.16	36.00	80.00	1	470	-0.140	-0.070	-0.255	0.020	-0.145	-0.118
					2	670	-0.140	-0.040	-0.240	0.040	-0.140	-0.104
					3	870	-0.080	-0.020	-0.220	0.060	-0.120	-0.076
					4	1070	-0.050	-0.010	-0.210	0.090	-0.090	-0.054
3	20.00	13.20	40.00	170.00	1	470	-0.075	-0.095	-0.175	-0.105	-0.130	-0.116
					2	670	-0.020	-0.100	-0.140	-0.100	-0.120	-0.096
					3	870	-0.020	-0.100	-0.120	-0.080	-0.160	-0.096
					4	1070	-0.020	-0.020	-0.100	-0.040	-0.070	-0.050
4	23.55	17.52	37.00	170.00	1	470	-0.240	-0.280	-0.310	-0.270	-0.200	-0.260
					2	670	-0.195	-0.240	-0.280	-0.235	-0.165	-0.223
					3	870	-0.160	-0.200	-0.240	-0.180	-0.100	-0.176
					4	1070	-0.110	-0.150	-0.200	-0.140	-0.080	-0.136

**Lokasi : Jalan Arteri**

No.	Berat total (ton)	Berat as belakang	Suhu (°C)	Tek. ban (psi)	No. LVDT	Jarak LVDT (mm)	Nilai Lendutan (mm)					
							Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 4	Uji ke 5	Rata-2
1	10.34	7.32	42.00	120.00	1	470	-0.050	-0.070	-0.100	-0.050	-0.050	-0.064
					2	670	0.005	-0.015	-0.035	-0.020	0.010	-0.011
					3	870	0.040	0.020	0.000	0.020	0.040	0.024
					4	1070	0.040	0.040	-0.010	0.020	0.060	0.030
2	12.36	8.16	41.00	80.00	1	470	-0.185	-0.155	-0.160	-0.210	-0.160	-0.174
					2	670	-0.080	-0.040	-0.040	-0.120	-0.080	-0.072
					3	870	-0.020	0.000	0.000	-0.080	-0.020	-0.024
					4	1070	-0.010	0.010	0.010	-0.050	-0.010	-0.010
3	20.00	13.20	41.00	170.00	1	470	-0.265	-0.265	-0.290	-0.215	-0.275	-0.262
					2	670	-0.180	-0.140	-0.180	-0.160	-0.180	-0.168
					3	870	-0.120	-0.120	-0.140	-0.080	-0.080	-0.108
					4	1070	-0.060	-0.070	-0.080	-0.040	-0.070	-0.064
4	23.55	17.52	41.00	170.00	1	470	-0.330	-0.320	-0.440	-0.300	-0.330	-0.344
					2	670	-0.150	-0.160	-0.305	-0.175	-0.195	-0.197
					3	870	-0.120	-0.120	-0.200	-0.060	-0.120	-0.124
					4	1070	-0.040	-0.060	-0.150	-0.020	-0.060	-0.066

**Lokasi : Jalan Kolektor 1**

No.	Berat total (ton)	Berat as belakang	Suhu (°C)	Tek. ban (psi)	No. LVDT	Jarak LVDT (mm)	Nilai Lendutan (mm)					
							Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 4	Uji ke 5	Rata-2
1	10.34	7.32	40.00	120.00	1	470	-0.220	-0.200	-0.210	-0.230	-0.220	-0.216
					2	670	-0.180	-0.155	-0.175	-0.170	-0.160	-0.168
					3	870	-0.180	-0.140	-0.160	-0.140	-0.140	-0.152
					4	1070	-0.160	-0.110	-0.130	-0.130	-0.120	-0.130
2	12.36	8.16	41.00	80.00	1	470	-0.265	-0.275	-0.325	-0.255	-0.215	-0.267
					2	670	-0.180	-0.220	-0.240	-0.180	-0.120	-0.188
					3	870	-0.120	-0.120	-0.180	-0.120	-0.060	-0.120
					4	1070	-0.070	-0.120	-0.140	-0.070	-0.020	-0.084
3	20.00	13.20	40.00	170.00	1	470	-0.495	-0.425	-0.450	-0.510	-0.500	-0.476
					2	670	-0.320	-0.260	-0.260	-0.300	-0.320	-0.292
					3	870	-0.240	-0.200	-0.180	-0.220	-0.220	-0.212
					4	1070	-0.160	-0.120	-0.120	-0.160	-0.160	-0.144
4	23.55	17.52	41.00	170.00	1	470	-0.640	-0.570	-0.690	-0.580	-0.580	-0.612
					2	670	-0.485	-0.420	-0.540	-0.420	-0.415	-0.456
					3	870	-0.380	-0.280	-0.420	-0.300	-0.240	-0.324
					4	1070	-0.310	-0.240	-0.340	-0.220	-0.240	-0.270

**Lokasi : Jalan Kolektor 2**

No.	Berat total (ton)	Berat as belakang	Suhu (°C)	Tek. ban (psi)	No. LVDT	Jarak LVDT (mm)	Nilai Lendutan (mm)					
							Uji ke 1	Uji ke 2	Uji ke 3	Uji ke 4	Uji ke 5	Rata-2
1	10.34	7.32	40.00	120.00	1	470	-0.140	-0.170	-0.120	-0.120	-0.110	-0.132
					2	670	-0.075	-0.085	-0.055	-0.050	-0.045	-0.062
					3	870	0.000	-0.040	0.000	0.000	0.040	0.000
					4	1070	0.000	-0.010	0.000	0.010	0.020	0.004
2	12.36	8.16	41.00	80.00	1	470	-0.325	-0.245	-0.235	-0.265	-0.380	-0.290
					2	670	-0.180	-0.080	-0.080	-0.120	-0.260	-0.144
					3	870	-0.120	-0.020	-0.020	-0.060	-0.180	-0.080
					4	1070	-0.060	0.030	0.020	-0.020	-0.150	-0.036
3	20.00	13.20	40.00	170.00	1	470	-0.320	-0.345	-0.325	-0.285	-0.290	-0.313
					2	670	-0.100	-0.140	-0.140	-0.100	-0.100	-0.116
					3	870	-0.020	-0.040	-0.040	0.000	0.000	-0.020
					4	1070	0.040	0.020	0.040	0.050	0.050	0.040
4	23.55	17.52	41.00	170.00	1	470	-0.750	-0.710	-0.510	-0.420	-0.580	-0.594
					2	670	-0.375	-0.430	-0.270	-0.205	-0.355	-0.327
					3	870	-0.220	-0.320	-0.160	-0.140	-0.260	-0.220
					4	1070	-0.130	-0.220	-0.080	-0.050	-0.170	-0.130

## RIWAYAT HIDUP



### IDENTITAS DIRI

Nama	: Catur Arif Prastyanto
Tempat, tanggal lahir	: Lamongan, 08 Juli 1970
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Agama	: Islam
Pekerjaan	: Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP – ITS
Golongan/Jabatan	: III-D / Lektor
NIP	: 19700708 1998021 001
Alamat Kantor	: Departemen Teknik Sipil, FTSP – ITS Jl. Arif Rachman Hakim, Sukolilo Surabaya
Telp./Fax	: 031 594 7284 / 031 594 6094
Alamat Rumah	: Jl. Nanas II / 230-B, Pondok Chandra Indah Waru Sidoarjo, Jawa Timur
Telp./HP	: 0812 3531 2631
Alamat e-mail	: <a href="mailto:cprastyanto@gmail.com">cprastyanto@gmail.com</a>

**RIWAYAT PENDIDIKAN PERGURUAN TINGGI**

<b>Tahun Lulus</b>	<b>Jenjang</b>	<b>Perguruan Tinggi</b>	<b>Jurusan/Bidang Studi</b>
1995	S-1	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	Teknik Sipil Transportasi
2003	S-2	IHE Delft, Netherland	Urban Infrastructure Engineering and Management
2012 - Sekarang	S-3	Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	Menejemen Rekayasan Transportasi

**PUBLIKASI ILMIAH : JURNAL INSTERNASIONAL**

<b>No.</b>	<b>Judul</b>	<b>Nama Jurnal</b>	<b>Susunan Penulis</b>
1	The Effect of Overloaded Heavy VehicleS on The Values of Axle Load Distribution, Tire Pressure and Equivalent Axle Load (Case Study: Jenu – Tuban Aterial Road, East Java, Indonesia)	ARPN Journal of Engineering and Applied Science (ISSN 1819 – 6608) Terindex SCOPUS Volume 11 No. 24 (2016) Page 14354-14360	Catur Arif Prastyanto Indrasurya B. Mochtar

**PUBLIKASI ILMIAH : SEMINAR INTERNASIONAL**

<b>No.</b>	<b>Nama Seminar</b>	<b>Judul</b>	<b>Tempat / Posisi</b>
1	The 3 <sup>rd</sup> International Conference on Civil Engineering Research, ICCER 2017	Prediction of Flexible Pavement Deflection Based on Falling Weight Deflectometer, FWD, for Highways Traversed by Heavy Overloaded Vehicles (Case Study on Arterial And Collector Roads in Tuban, East Java, Indonesia)	Jurusan Teknik Sipil ITS (Pemakalah)



2	The 3 <sup>rd</sup> International Conference on Civil Engineering Research, ICCER 2017	Taxiway Pavement Evaluation to Support the Operational of Terminal 2 Juanda Airport	Jurusan Teknik Sipil ITS (Anggota)
3	The 2 <sup>nd</sup> International Conference on Civil Engineering Research, ICCER 2016	The Effect of Overloaded Heavy VehicleS on The Values of Axle Load Distribution, Tire Pressure and Equivalent Axle Load (Case Study: Jenu – Tuban Aterial Road, East Java, Indonesia)	Jurusan Teknik Sipil ITS (Pemakalah)
4	International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (APTECS) 2013	Experimental Characterization of A Load Sensor Based on Singlemode – Multimode – Singlemode (SMS) Fiber Structure with A Variation of The Number of Bends	LPPM – ITS (Anggota)

#### **PUBLIKASI ILMIAH : SEMINAR NASIONAL**

<b>No.</b>	<b>Nama Seminar</b>	<b>Judul</b>	<b>Tempat / Posisi</b>
1	Seminar Nasional Teknik Sipil 2015	Kajian Penggunaan Persamaan Equivalent Axle Load (EAL) pada Perencanaan Konstruksi Perkerasan Jalan Raya Indonesia	D-3 Teknik Sipil ITS (Pemakalah)
2	Seminar Nasional Teknik Sipil 2010	Identifikasi Awal Terhadap Rencana Re-aktivasi Jalan Kereta Api Ruas Kalisat-Bondowoso Berdasarkan Kondisi Infrastruktur	Teknik Sipil ITS (Pemakalah)